



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**ANALISIS PERFORMANSI TURBIN ARUS LAUT  
VERTIKAL AKSIS JENIS *V-STRAIGHT* DAN  
*V-HELICAL* TERHADAP PERUBAHAN DIMENSI  
BERBASIS CFD**

**I KADEK YAMUNA GANGGA PUTRA**  
NRP 2411 100 094

Dosen Pembimbing  
Dr. Ridho Hantoro, ST. MT.  
Ir. Roekmono, MT.

**JURUSAN TEKNIK FISIKA**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015





**FINAL PROJECT - TF 141581**

***PERFORMANCE ANALYSIS OF VERTICAL  
AXIS TIDAL CURRENT TURBINE TYPE  
V-STRAIGHT AND V-HELICAL IN THE  
CHANGE DIMENSION BASED ON CFD***

**I KADEK YAMUNA GANGGA PUTRA  
NRP 2411 100 094**

**Supervisor**

**Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.**

**Ir. Roekmono, M.T.**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PERFORMANSI TURBIN ARUS LAUT VERTIKAL AKSIS JENIS *V-STRAIGHT* DAN *V-HELICAL* TERHADAP PERUBAHAN DIMENSI BERBASIS CFD

#### TUGAS AKHIR

Oleh:

**I KADEK YAMUNA GANGGA PUTRA**  
**NRP. 2411100094**

Surabaya, 22 Januari 2015  
Mengetahui/Menyetujui


Pembimbing I

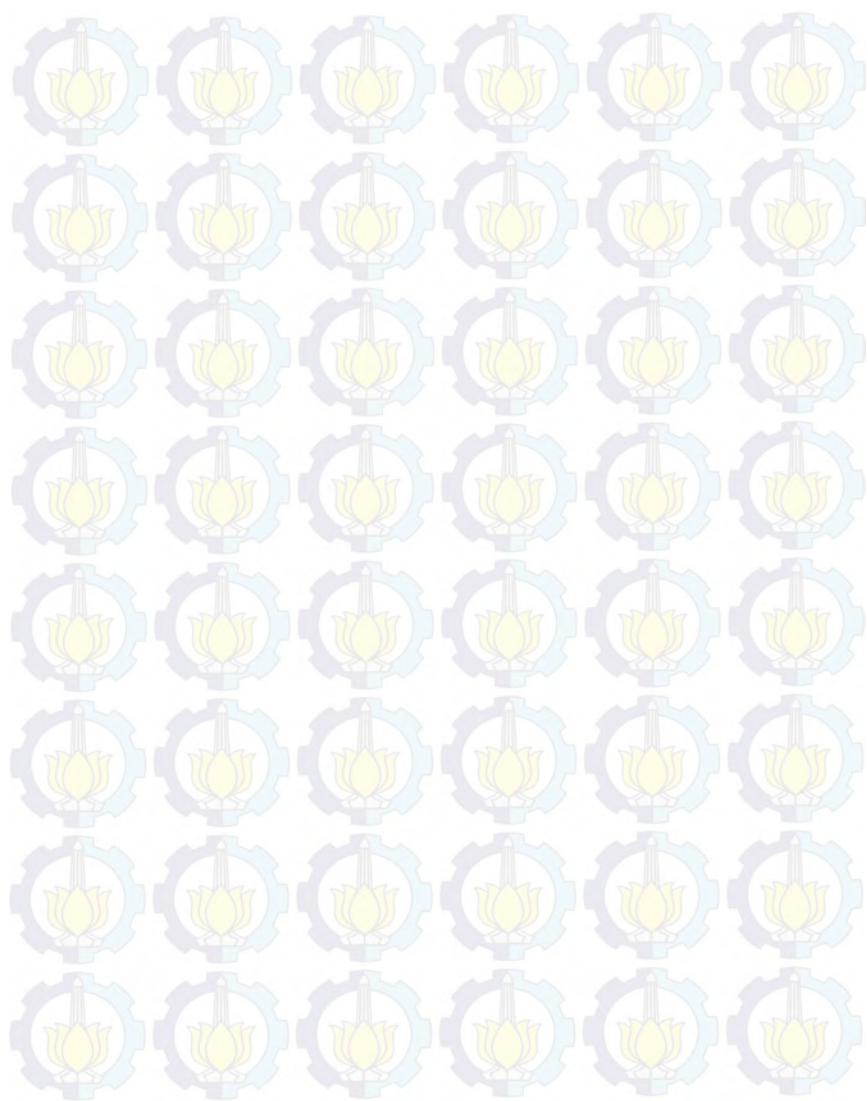
Pembimbing II

  
**Dr. Ridho Hantoro, ST, MT**  
**NIP. 19761223 200501 1 001**

  
**Ir. Roekmono, MT**  
**NIP. 19580908 198601 1 001**

  
**Ketua Jurusan**  
**Teknik Fisika, FTI – ITS**

  
**Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA**  
**NIP. 19650309 199002 1 001**



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PERFORMANSI TURBIN ARUS LAUT VERTIKAL AKSIS JENIS *V-STRAIGHT* DAN *V-HELICAL* TERHADAP PERUBAHAN DIMENSI BERBASIS CFD

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Rekayasa Energi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

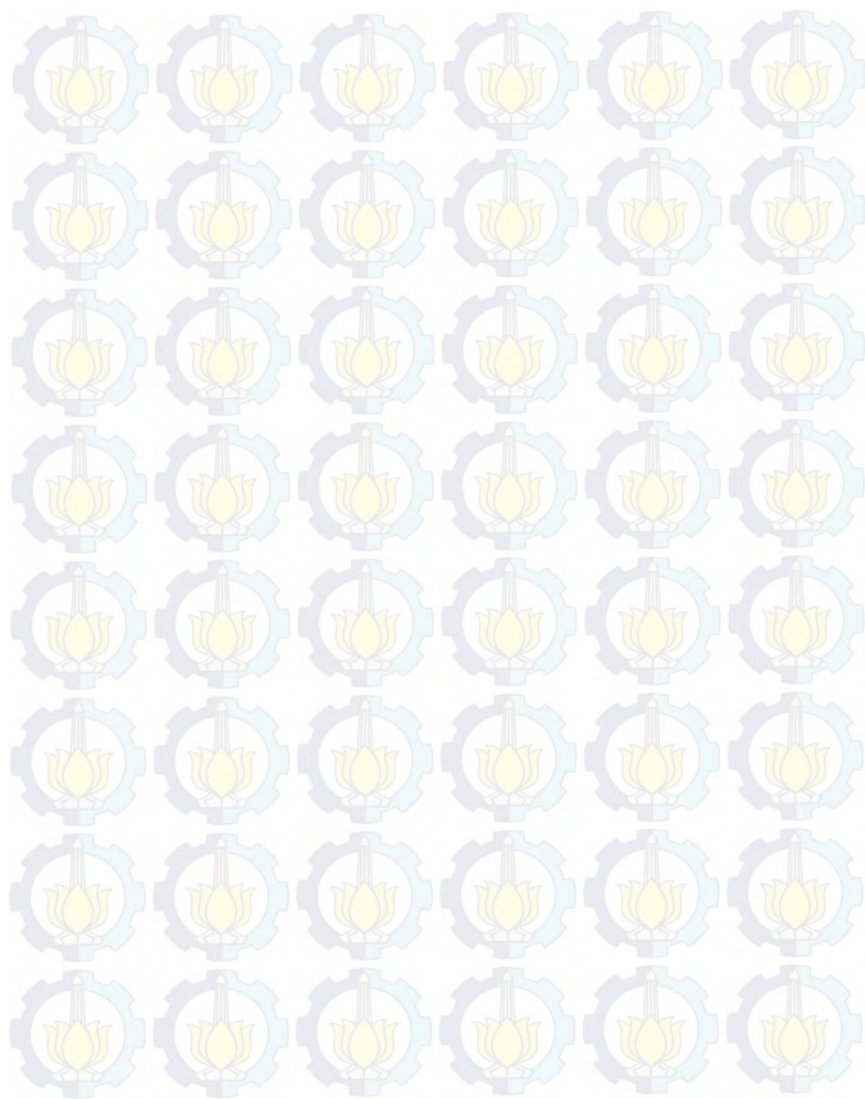
**I KADEK YAMUNA GANGGA PUTRA**  
**NRP 2411100094**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. .... (Pembimbing I)
2. Ir. Roekmono, M.T. .... (Pembimbing II)
3. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T. .... (Penguji I)
4. Ir. Sarwono, M.M. .... (Penguji II)
5. Nur Laila Hamidah, S.T., MSc. .... (Penguji III)
6. Dr. Ir. Totok Sochartanto, DEA .... (Penguji IV)

**SURABAYA**  
**JANUARI 2015**





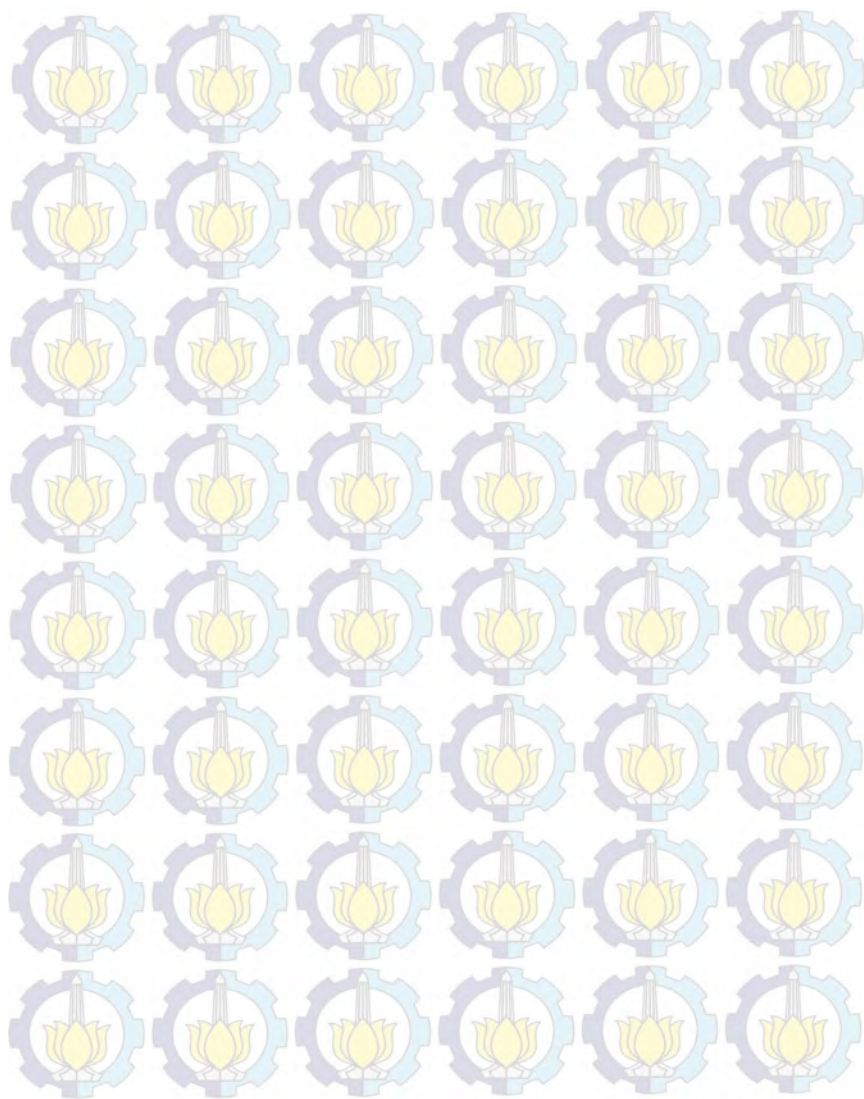


## **ANALISIS PERFORMANSI TURBIN ARUS LAUT VERTIKAL AKSIS JENIS *V-STRAIGHT* DAN *V-HELICAL* TERHADAP PERUBAHAN DIMENSI BERBASIS CFD**

**Nama** : I Kadek Yamuna Gangga Putra  
**NRP** : 2411100094  
**Jurusan** : Teknik Fisika, FTI - ITS  
**Pembimbing I** : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.  
**Pembimbing II** : Ir. Roekmono, M.T.

*Abstrak*— Meningkatnya kebutuhan energi listrik perlu diiringi dengan adanya peningkatan pembangkit listrik yang berasal dari energi terbarukan seperti turbin arus laut. Sebelum membuat turbin dalam skala besar perlu membuat model turbin yang memperhatikan konsep keserupaan. Dalam setiap skala model turbin, harus memiliki nilai bilangan non-dimensional yang sama antara turbin nyata skala besar dengan turbin model skala kecil. Pada penelitian kali ini dilakukan simulasi CFD pada turbin arus laut vertikal aksis dengan jenis turbin *V-Straight* dan turbin *V-Helical*. Dilakukan variasi perbesaran dimensi 1 kali, 2 kali, 3 kali dan 4 kali serta variasi kecepatan aliran mulai dari 0.5 m/s – 2 m/s. Berdasarkan hasil simulasi CFD didapatkan hubungan gaya turbin yang sebanding dengan kuadrat perubahan kecepatan aliran dan kuadrat perbesaran dimensi, lalu Torsi turbin yang sebanding dengan kuadrat perubahan kecepatan aliran dan pangkat tiga perbesaran dimensi, sedangkan daya sebanding dengan pangkat tiga perubahan kecepatan aliran dan kuadrat perbesaran dimensi. Torsi pada turbin *V-Helical* lebih stabil dibandingkan pada *V-Straight*, namun nilai torsi rata – ratanya lebih besar turbin *V-Straight* yaitu 111028 Nm dibandingkan dengan turbin *V-Helical* yaitu sebesar 88585 Nm.

**Kata Kunci**—Perbesaran Dimensi, *V-Straight*, *V-Helical*, CFD

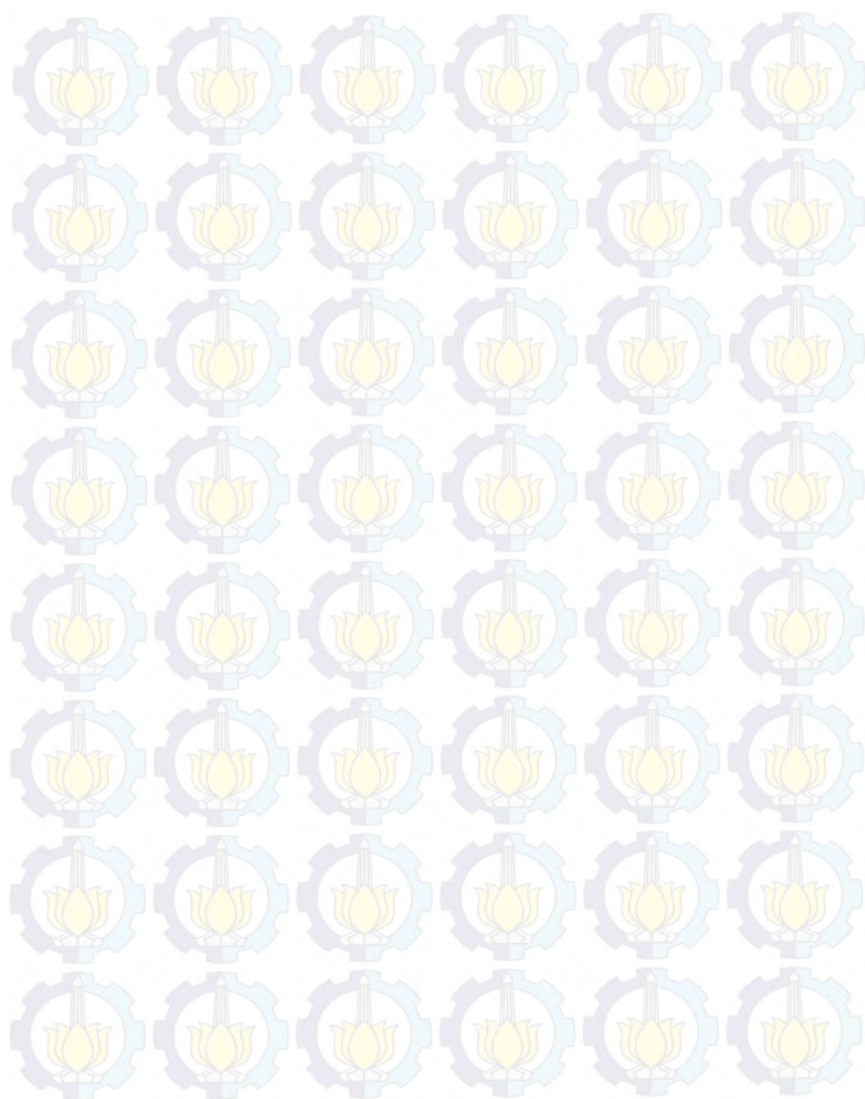


**PERFORMANCE ANALYSIS OF VERTICAL AXIS TIDAL  
CURRENT TURBINE TYPE V-STRAIGHT AND V-HELICAL  
IN THE CHANGE DIMENSION BASED ON CFD**

**Name : I Kadek Yamuna Gangga Putra**  
**NRP : 2411100094**  
**Departement : Engineering Physics – Faculty of Industrial  
Technology - ITS**  
**Supervisor I : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.**  
**Supervisor II : Ir. Roekmono, M.T.**

*Abstract— The growing need for electrical energy needs to be accompanied by an increase in electricity generation from renewable energy such as ocean current turbines. Before making large-scale turbines need to make turbine model that takes into account the concept of similarity. In each scale model of the turbine, should have a number of non-dimensional value of the same between large-scale real turbine with a small-scale model turbines. In the present research performed CFD simulation on the vertical axis turbine ocean currents with V-Straight type turbine and turbine V-Helical. Do variations in magnification dimension 1 time, 2 times, 3 times and 4 times as well as the flow velocity variations ranging from 0.5 m / s - 2 m / s. Based on CFD simulation results obtained relationship turbine style which is proportional to the square of the flow velocity changes and squared of the magnification dimension changes, then the turbine torque is proportional to the square of the flow velocity changes and cube of dimensional magnification changes, while the power is proportional to the cube of flow velocity changes and the square of the dimension magnification changes. Torque in the V-Helical turbine is more stable than the V-Straight, but the average value of torque - means are bigger turbines V-Straight is equal to 111028 Nm compared with the V-helical turbine is equal to 88585 Nm*  
**Keywords: Dimensions Magnification, V-Straight, V-Helical, CFD**





## KATA PENGANTAR

Om Swastyastu, puji dan syukur senantiasa saya panjatkan kehadapan Ida Sang Hyang Widhi Wasa. Atas berkah, petunjuk, dan karunia-Nya sehingga penulis mampu untuk menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Performansi Turbin Arus Laut Vertikal Aksis Jenis V-Straight dan V-Helical Terhadap Perubahan Dimensi Berbasis CFD.”**

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ridho Hantoro, ST, MT dan Ir. Roekmono, MT selaku pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingannya yang diberikan.
2. Dyah Sawitri, ST, MT selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan perhatiannya selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Fisika.
3. Ir. Sarwono MMT selaku kepala laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan atas segala saran dan kemudahan.
4. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku ketua Jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS.
5. Astro Kasih Putera Sampoerna Foundation yang telah memberikan bantuan berupa beasiswa selama menjadi mahasiswa.
6. Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan atas sarana dan prasarana yang telah disediakan dalam melakukan simulasi.
7. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah sampai Tugas Akhir ini.

8. A.A. Made Adi Putri dan Wayan Sugiantara Putra selaku orang tua penulis yang selalu memberi dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Putu Juni Artini selaku kakak dari penulis yang selalu memberi semangat dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Tim turbin arus laut (Erna dan Fitria) yang selalu semangat, gigih dan antusias dalam membantu mengerjakan Tugas Akhir ini.
11. Mas Susilo dan mas Gege yang sudah memberikan bimbingan kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini
12. Bapak Chayun Budiono sebagai inspirator saya di bidang energi terbarukan.
13. Teman-teman asisten dan KSE Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan atas segala bantuannya selama ini.
14. Seluruh mahasiswa Teknik Fisika, terutama angkatan 2011, terima kasih atas segalanya.
15. Sahabat kontrakan marina dan teman – teman TPKH yang selalu memberikan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir.
16. Semua pihak yang turut membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini, terima kasih banyak.

Penulis menyadari bahwa terdapat beberapa kekurangan dalam tugas akhir ini, tetapi penulis berharap hasil penelitian tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan dapat menambah wawasan bagi pembaca dan mahasiswa Teknik Fisika yang nantinya dapat digunakan sebagai referensi pengerjaan tugas akhir selanjutnya. Semoga hasil penelitian tugas akhir ini banyak memberikan manfaat untuk kemajuan bidang energi terbarukan khususnya turbin arus air.

Om Santih Santih Santih Om

Surabaya, 22 Januari 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xxiii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xxv</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	 <b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Sistematika Laporan	4
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	 <b>7</b>
2.1 Energi Arus Laut di Indonesia	7
2.2 Turbin Arus Laut	9
2.3 Karakteristik Hidrodinamika	13
2.3.1 Konsep Gaya Angkat (Lift) dan Gaya Hambat (Drag)	14
2.4 Hydrofoil	17
2.4.1 NACA	17
2.4.2 Karakteristik Airfoil	18
2.5 Daya Arus Laut	20
2.6 Daya Rotor dan Torsi Rotor	20
2.7 Simulasi Berbasis CFD	22
 <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	 <b>23</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Desain Turbin	24



3.3	Analisis Non-Dimensional	24
3.4	Penentuan Parameter Validasi	28
3.5	Simulasi CFD	29
3.6	Verifikasi Hasil	41
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	<b>43</b>
4.1	Verifikasi Hasil Simulasi CFD	43
4.2	Data Hasil Simulasi CFD Pada Turbin <i>V_Straight</i>	44
4.2.1	Fluktuasi Gaya Fx, Fy dan Torsi Pada Masing – Masing Blade dan Shaft	44
4.2.2	Fluktuasi Resultan Gaya Fx, Fy dan Torsi Terhadap Sudut Azimuth Dengan Variasi Dimensi Turbin	48
4.2.3	Fluktuasi Resultan Gaya Fx, Fy dan Torsi Terhadap Sudut Azimuth Dengan Variasi Kecepatan Aliran	50
4.2.4	Resultan Gaya Fx, Fy dan Torsi Terhadap Kecepatan Aliran Dengan Variasi Dimensi Turbin	53
4.2.5	Resultan Gaya Fx, Fy dan Torsi Terhadap Dimensi Turbin Dengan Variasi Kecepatan Aliran	55
4.3	Data Hasil Simulasi CFD Pada Turbin <i>V-Helical</i>	58
4.3.1	Fluktuasi Gaya Fx, Fy dan Torsi Pada Masing – Masing Blade dan Shaft	58
4.3.2	Fluktuasi Resultan Gaya Fx, Fy dan Torsi Terhadap Sudut Azimuth Dengan Variasi Dimensi Turbin	61
4.3.3	Fluktuasi Resultan Gaya Fx, Fy dan Torsi Terhadap Sudut Azimuth Dengan Variasi Kecepatan Aliran	63
4.3.4	Resultan Gaya Fx, Fy dan Torsi Terhadap Kecepatan Aliran Dengan Variasi Dimensi Turbin	65

4.3.5	Resultan Gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi Terhadap Dimensi Turbin Dengan Variasi Kecepatan Aliran	68
4.4	Pembahasan	70
4.4.1	Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Terhadap Performansi Turbin Dengan Variasi Perbesaran Dimensi	71
4.4.2	Pengaruh Perbesaran Dimensi Terhadap Performansi Turbin Dengan Variasi Kecepatan Aliran Fluida	73
4.4.3	Diagram Performansi Turbin	76
4.4.4	Pengaruh jenis blade terhadap torsi di setiap sudut azimuth	77
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	79
5.1	Kesimpulan	79
5.2	Saran	79

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Ukuran meshing pada simulasi penelitian sebelumnya dan penelitian saat ini	35
<b>Tabel 3.2</b>	Penentuan <i>boundary condition</i> dan inisialisasi pada CFD	38
<b>Tabel 3.3</b>	Ukuran turbin pada variasi perubahan dimensi	42
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Verifikasi Simulasi V-Blade dengan Turbin Darrieus	45
<b>Tabel 4.2</b>	Nilai gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi tiap peningkatan kecepatan aliran dengan variasi perubahan dimensi di <i>V-Straight</i>	56
<b>Tabel 4.3</b>	Persamaan garis $F_x$ , $F_y$ dan Torsi turbin <i>V-Straight</i> terhadap sudut azimuth tiap variasi perubahan dimensi di <i>V-Straight</i>	57
<b>Tabel 4.4</b>	Nilai gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi tiap peningkatan perubahan dimensi dengan variasi kecepatan aliran di <i>V-Straight</i>	59
<b>Tabel 4.5</b>	Persamaan garis $F_x$ , $F_y$ dan Torsi turbin <i>V-Straight</i> terhadap sudut azimuth tiap variasi kecepatan aliran di <i>V-Straight</i>	60
<b>Tabel 4.6</b>	Nilai gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi tiap peningkatan kecepatan aliran dengan variasi perubahan dimensi di <i>V-Helical</i>	70
<b>Tabel 4.7</b>	Persamaan garis $F_x$ , $F_y$ dan Torsi turbin <i>V-Straight</i> terhadap sudut azimuth tiap variasi perubahan dimensi di <i>V-Helical</i>	71
<b>Tabel 4.8</b>	Nilai gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi tiap peningkatan perubahan dimensi dengan variasi kecepatan aliran di <i>V-Helical</i>	73
<b>Tabel 4.9</b>	Persamaan garis $F_x$ , $F_y$ dan Torsi turbin <i>V-Straight</i> terhadap sudut azimuth tiap variasi kecepatan aliran di <i>V-Helical</i>	74
<b>Tabel 4.10</b>	Daya vs Kecepatan pada turbin <i>V-Straight</i>	77



<b>Tabel 4.11</b>	Daya vs Kecepatan pada turbin <i>V-Helical</i>	77
<b>Tabel 4.12</b>	Persamaan Garis Daya P pada <i>V-Straight</i> dan <i>V-Helical</i>	77
<b>Tabel 4.13</b>	Daya vs Perubahan Dimensi pada turbin <i>V-Straight</i>	80
<b>Tabel 4.14</b>	Daya vs Perubahan Dimensi pada turbin <i>V-Helical</i>	80
<b>Tabel 4.15</b>	Persamaan Garis Daya P pada <i>V-Straight</i> dan <i>V-Helical</i>	80

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Skema sirkulasi termohalin global	7
<b>Gambar 2.2</b>	Skema pembentukan arus geostropik di BBU	8
<b>Gambar 2.3</b>	Skema pembentukan <i>rip currents</i>	8
<b>Gambar 2.4</b>	Gaya – gaya pembangkit arus laut	8
<b>Gambar 2.5</b>	Jenis – jenis <i>hydrokinetic turbine</i>	9
<b>Gambar 2.6</b>	Jenis – jenis turbin horisontal aksis	10
<b>Gambar 2.7</b>	Jenis – jenis turbin vertikal aksis	11
<b>Gambar 2.8</b>	Turbin <i>V-Straight Blade</i>	12
<b>Gambar 2.9</b>	Turbin Gorlov dan <i>V-Helical Blade</i>	13
<b>Gambar 2.10</b>	Gaya-gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi: a. gaya tekanan, b. gaya viskos, c. gaya resultan ( <i>lift</i> dan <i>drag</i> )	15
<b>Gambar 2.11</b>	Gaya tekanan dan gaya geser pada sebuah elemen kecil dari permukaan sebuah benda	15
<b>Gambar 2.12</b>	Parameter geometris <i>airfoil</i> dari seri <i>airfoil</i> NACA	18
<b>Gambar 2.13</b>	Proses terbentuknya gaya angkat	19
<b>Gambar 3.1</b>	Skema diagram alir penelitian Tugas Akhir	23
<b>Gambar 3.2</b>	Geometri turbin <i>V-Straight</i>	30
<b>Gambar 3.3</b>	Skema turbin <i>V-Helical</i>	30
<b>Gambar 3.4</b>	Geometri turbin <i>V-Helical</i>	31
<b>Gambar 3.5</b>	<i>Cylinder Sub Domain</i> sebagai tempat turbin	32
<b>Gambar 3.6</b>	<i>Box Domain</i> air laut yang telah <i>disubstract</i> dengan <i>Cylinder Sub Domain</i>	33
<b>Gambar 3.7</b>	Domain total dalam simulasi CFD	33
<b>Gambar 3.8</b>	Domain total dalam simulasi CFD tampak atas	34
<b>Gambar 3.9</b>	Hasil Meshing pada bagian (a)blade dan shaft, (b) domain cylinder, (c) domain box, (d) meshing total	37

<b>Gambar</b>	<b>3.10</b>	Tahap pembuatan domain interface	39
<b>Gambar</b>	<b>3.11</b>	Salah satu contoh konvergensi pada simulasi CFD	40
<b>Gambar</b>	<b>3.12</b>	Perubahan dimensi turbin <i>V-Straight</i> dan <i>V-Helical</i>	41
<b>Gambar</b>	<b>3.13</b>	Tahapan <i>preprocessing</i> pada simulasi transient	43
<b>Gambar</b>	<b>4.1</b>	Gaya pada masing – masing blade dan shaft turbin <i>V-Straight</i> (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi	48
<b>Gambar</b>	<b>4.2</b>	Kontur tekanan pada turbin <i>V-straight</i>	49
<b>Gambar</b>	<b>4.3</b>	Gaya tiap sudut azimuth variasi dimensi turbin <i>V-Straight</i> (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi	51
<b>Gambar</b>	<b>4.4</b>	Kontur tekanan pada sudut azimuth $90^0$	52
<b>Gambar</b>	<b>4.5</b>	Gaya tiap sudut azimuth variasi kecepatan turbin <i>V-Straight</i> (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi	53
<b>Gambar</b>	<b>4.6</b>	Kontur tekanan pada sudut azimuth $150^0$	54
<b>Gambar</b>	<b>4.7</b>	Gaya tiap kecepatan dengan variasi dimensi turbin <i>V-Straight</i> (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi	56
<b>Gambar</b>	<b>4.8</b>	Gaya tiap dimensi dengan variasi kecepatan turbin <i>V-Straight</i> (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi	59
<b>Gambar</b>	<b>4.9</b>	Gaya pada masing – masing blade dan shaft turbin <i>V-Helical</i> (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi	63
<b>Gambar</b>	<b>4.10</b>	Kontur tekanan pada turbin <i>V-Helical</i>	64



<b>Gambar 4.11</b>	Gaya tiap sudut azimuth variasi dimensi turbin <i>V-Helical</i> (a) Gaya arah sumbu x (Fx) (b) Gaya arah sumbu y (Fy) (c) Torsi	65
<b>Gambar 4.12</b>	Kontur tekanan pada sudut azimuth $210^0$	66
<b>Gambar 4.13</b>	Gaya tiap sudut azimuth variasi kecepatan turbin <i>V-Helical</i> (a) Gaya arah sumbu x (Fx) (b) Gaya arah sumbu y (Fy) (c) Torsi	67
<b>Gambar 4.14</b>	Kontur tekanan pada sudut azimuth $30^0$	68
<b>Gambar 4.15</b>	Gaya tiap kecepatan dengan variasi dimensi turbin <i>V-Helical</i> (a) Gaya arah sumbu x (Fx) (b) Gaya arah sumbu y (Fy) (c) Torsi	69
<b>Gambar 4.16</b>	Gaya tiap dimensi dengan variasi kecepatan turbin <i>V-Helical</i> (a) Gaya arah sumbu x (Fx) (b) Gaya arah sumbu y (Fy) (c) Torsi	72
<b>Gambar 4.17</b>	Daya tiap kecepatan dengan variasi dimensi turbin (a) Torsi pada <i>V-Straight</i> (b) Torsi pada <i>V-Helical</i>	76
<b>Gambar 4.18</b>	Daya tiap dimensi turbin dengan variasi kecepatan aliran fluida (a) Torsi pada <i>V-Straight</i> (b) Torsi pada <i>V-Helical</i>	79
<b>Gambar 4.19</b>	Diagram performansi turbin <i>V-Helical</i>	81
<b>Gambar 4.20</b>	Diagram performansi turbin <i>V-Straight</i>	82
<b>Gambar 4.21</b>	Perbandingan torsi tiap sudut azimuth pada turbin <i>V-Straight</i> dan <i>V-Helical</i>	84



$C_p$	Koefisien Performansi [Tidak Berdimensi]
$V$	Kecepatan [m/s]
$P$	Daya Turbin [Watt]
$\rho$	Massa Jenis [Kg/m <sup>3</sup> ]
$A$	Luas Penampang [m <sup>2</sup> ]
$a$	Diameter atas turbin [m]
$b$	Diameter bawah turbin [m]
$H$	Tinggi Turbin [m]
$P$	Tekanan [Pascal]
$g$	Percepatan Gravitasi [m/s <sup>2</sup> ]
$\gamma$	sudut inklinasi blade helical [°]
$\varphi$	sudut fase blade atas dan bawah [°]
$F$	Gaya [Newton]
$L$	Gaya Lift [Newton]
$D$	Gaya Drag [Newton]
$T$	Torsi [N/m]
$C_L$	Koefisien Lift [Tidak Berdimensi]
$C_D$	Koefisien Drag [Tidak Berdimensi]
$C_m$	Koefisien Momen [Tidak Berdimensi]
$\omega$	Kecepatan Sudut [rad/sekon]
TSR	Tip Speed Rasio [Tidak Berdimensi]
Re	Bilangan Reynold [Tidak Berdimensi]





## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar belakang**

Konsumsi listrik di Indonesia semakin hari semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Berdasarkan data dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dalam kurun waktu tahun 2000-2011, konsumsi listrik mengalami peningkatan rata-rata sebesar 6.5% tiap tahunnya. Diprediksikan selama 10 tahun kedepan, permintaan energi listrik meningkat sebesar 8-9% tiap tahunnya. Sementara itu sumber energi konvensional seperti Bahan Bakar Minyak (BBM) dan sumber energi fosil lainnya belum dapat memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Ditambah juga dengan sumber daya alam fosil yang semakin hari semakin menipis dan akan habis beberapa tahun kedepan. Padahal sampai tahun 2011, sebagian besar kebutuhan konsumsi listrik di Indonesia masih diperoleh dari pembangkit listrik berbahan bakar energi fosil. Dengan pangsa yang paling tinggi diduduki oleh batu bara sebesar 42% dan minyak bumi sebesar 23%, lalu diikuti oleh gas sebesar 22%, panas bumi sebesar 3% dan pembangkit berbasis hidro serta energi terbarukan sebesar 10%. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia.

Energi terbarukan adalah suatu bentuk energi yang dapat dikonversi dan tidak akan pernah habis. Sumber energi terbarukan terdiri atas panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, *hydropower*, ombak, arus laut dan perbedaan suhu lapisan laut. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan di Indonesia adalah arus laut, mengingat Indonesia merupakan Negara kepulauan terbesar di dunia dengan luas wilayah perairan sebesar 63% dari total luas wilayah Indonesia. Indonesia memiliki banyak pulau dan selat yang dapat dimanfaatkan ketika arus laut yang terbentuk akibat dari interaksi gravitasi bulan dan matahari, rotasi bumi serta faktor lain seperti topografi suatu tempat dengan tempat lainnya. Menurut data Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) sumber energi terbarukan dari arus laut memiliki potensi

praktis sebesar 4,8 GigaWatt (GW), ini merupakan potensi yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia terutama di pulau – pulau yang memiliki listrik terbatas. Salah satu cara pemanfaatan potensi arus laut adalah dengan menggunakan turbin arus laut untuk menghasilkan listrik. Energi kinetik yang dihasilkan oleh aliran arus laut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik karena memanfaatkan aliran arus laut yang mengenai sudu turbin dan selanjutnya menggerakkan generator yang mengubah dari energi mekanik menjadi energi listrik.

Pada skala industri penggunaan turbin arus laut untuk menghasilkan listrik perlu memperhatikan beberapa hal terlebih dahulu yaitu perancangan awal model atau simulasi. Simulasi bertujuan untuk mengurangi biaya eksperimen yang dikeluarkan saat mendesain turbin arus laut. Jadi saat melakukan pemodelan geometri serta dimensi turbin dalam usaha mencapai target daya yang dihasilkan, pemodelan turbin harus sesuai dengan kondisi nyata dilapangan. Untuk mendapatkan kondisi tersebut perlu dilakukan analisis non-dimensional agar mendapatkan kondisi model yang mendekati kondisi nyata turbin dilapangan.

Penelitian yang berkembang tentang pemodelan turbin arus laut dilakukan oleh Jones, O'Doherty, dkk [9]. Pada penelitian tersebut membahas tentang pemodelan turbin arus laut tipe horizontal aksis dengan menggunakan pendekatan analisis non-dimensional. Berdasarkan pendekatan analisis non-dimensional didapatkan hubungan antara koefisien daya  $C_p$  dengan bilangan reynold dan Tip Speed Ratio (TSR). Lalu didapatkan juga hubungan antara daya yang dihasilkan dengan kecepatan sudut (rad/s) pada range diameter 6 meter sampai dengan 30 meter.

Pada turbin arus laut daya mekanik yang dapat dimanfaatkan menjadi daya listrik terbatas. Batas ini dinamakan sebagai batas *Betz*, dimana secara teori koefisien daya  $C_p$  yang dapat dicapai sebesar  $16/27$  untuk turbin sumbu horizontal sedangkan untuk turbin sumbu vertikal sebesar  $16/25$ . Namun pada kenyataannya angka tersebut sangat besar untuk diraih, maka untuk meningkatkan daya yang dihasilkan dari pemanfaatan aliran arus



laut dapat dilakukan dengan cara meningkatkan performansi geometri blade. Salah satu metode yang berkembang saat ini dalam meningkatkan performansi turbin adalah dengan membuat geometri blade yang berbentuk *helical blade twist*.

Penelitian yang berkembang tentang turbin arus laut tipe *helical blade twist* dilakukan oleh Scheurich, Fletcher dan Brown [2]. Pada penelitian tersebut membahas tentang pengaruh dari blade yang berbentuk *straight*, *curvature* dan yang berbentuk *helical blade twist*. Berdasarkan pengujian dengan menggunakan *Vorticity Transport Model (VTM)*, maka didapatkan bahwa turbine berbentuk *straight* dan *curvature* cenderung mendapatkan torsi yang berfluktuasi, sangat berbeda dengan turbin berbentuk *helical blade twist* yang menghasilkan torsi relatif stabil sehingga menghasilkan output daya yang stabil juga.

Penelitian yang dilakukan oleh Yang dan Shu [3] tentang optimasi hydrofoil dan validasi eksperimen pada turbin *helical blade twist* didapatkan bahwa koefisien daya  $C_p$  meningkat sebesar 41.2% dan menghasilkan daya keluaran serta torsi yang lebih stabil pada kecepatan aliran fluida yang rendah. Selanjutnya pada tugas akhir ini, peneliti akan berusaha mempelajari dan menganalisis efek perubahan dimensi terhadap performansi turbin arus laut jenis *V-Straight* dan *V-Helical* yang akan dijadikan terobosan model terbaru dari perkembangan turbin arus laut dan akan dijadikan acuan dalam membuat produksi turbin arus laut dalam skala besar menggunakan CFD

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan maka permasalahan yang muncul adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mengetahui pengaruh perubahan dimensi turbin terhadap performansi turbin arus laut, yaitu RPM, gaya, torsi dan daya baik pada turbin jenis *V-Straight* atau turbin jenis *V-Helical*?
2. Bagaimana mengetahui pengaruh jenis blade terhadap performansi turbin arus laut antara turbin jenis *V-Straight* dibandingkan dengan turbin jenis *V-Helical*?



### 1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin vertikal aksis jenis *V-Straight* dan *V-Helical*
2. Kecepatan aliran fluida arus laut yang digunakan adalah kecepatan 0.5-2 m/s
3. Terdapat 4 variasi perbesaran dimensi turbin (perbesaran diameter, chord, dan tinggi turbin) yaitu rasio skala 1x, 2x, 3x dan 4x
4. Tipe blade yang digunakan adalah NACA 0018 dengan perbandingan tinggi dan diameter turbin atas sebesar 4 : 1
5. Jumlah *blade* yang digunakan sebanyak 3 buah
6. Metode Simulasi dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics*.

### 1.4. Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini ada dua macam, yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh perubahan dimensi turbin terhadap performansi turbin arus laut, yaitu RPM, gaya, torsi dan daya baik pada turbin jenis *V-Straight* atau turbin jenis *V-Helical*.
2. Untuk mengetahui pengaruh jenis blade terhadap performansi antara turbin jenis *V-Straight* dibandingkan dengan turbin jenis *V-Helical*.

### 1.5. Sistematika Laporan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini akan disusun secara sistematis dibagi dalam beberapa bab, dengan perincian sebagai berikut :

#### **BAB I   Pendahuluan**

Bab ini berisi penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan.

## **BAB II Dasar Teori**

Pada bab ini membahas secara singkat teori-teori yang mendasari pengerjaan Tugas Akhir ini, selain itu juga terdapat penjelasan tentang teori-teori tersebut.

## **BAB III Metodologi Penelitian**

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai detail tahapan-tahapan yang harus dilalui untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Produk akhir dari tahap ini adalah hasil simulasi CFD yang akan dilihat profil aliran, torsi, gaya angkat dan tarik yang akan dianalisis.

## **BAB IV Analisa Data dan Pembahasan**

Bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, pada bab ini akan dilakukan analisis terhadap simulasi yang telah dilakukan menggunakan CFD, setelah dilakukan analisis sesuai dengan kebutuhan dan tujuan yang ingin dicapai maka selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap analisis data yang telah dilakukan, pembahasan yang dilakukan disesuaikan dengan tujuan yang ingin dicapai.

## **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh penelitian atau Tugas Akhir yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.



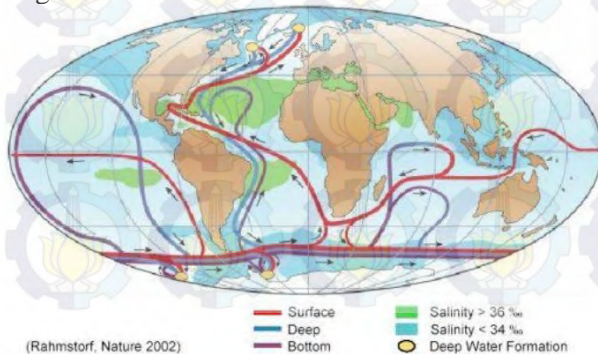


## BAB II

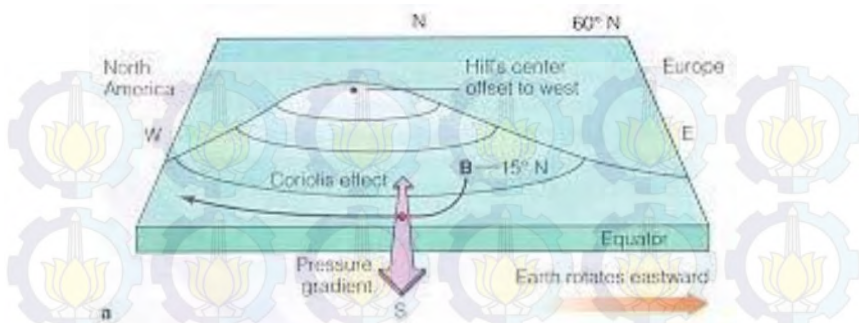
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Energi Arus Laut di Indonesia

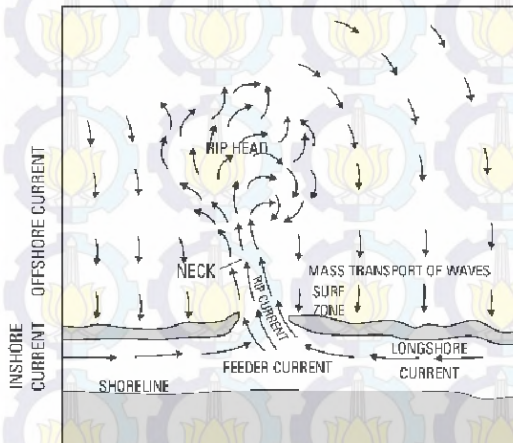
Gaya gravitasi antara bulan, matahari, dan bumi mengakibatkan ritme pasang surut dari perairan laut diseluruh dunia yang menghasilkan gelombang tidal. Bulan menghasilkan gaya yang lebih besar dari dua kali gaya yang dihasilkan matahari karena jaraknya yang lebih dekat dengan bumi. Akibatnya pasang surut air mengikuti fase bulan selama berotasi mengelilingi bumi. Arus laut merupakan gerakan horizontal massa air laut. Secara umum arus dibagi menjadi 2 berdasarkan penyebab utamanya yaitu arus pasang surut dan arus non pasang surut (non pasut). Arus pasang surut seperti telah dijelaskan diatas merupakan arus yang timbul gravitasi bulan, sedangkan arus non pasang surut merupakan arus yang timbul akibat adanya gaya-gaya pembangkit selain pasang surut. Arus non pasang surut ini memiliki banyak gaya pendorong antara lain gaya gravitasi, gaya gesekan seperti angin, dan gradient densitas. Arus akibat pengaruh gaya gravitasi contohnya adalah arus geostropik. Arus yang dibangkitkan oleh gradien densitas misalnya adalah sirkulasi *termohaline*, sedangkan untuk arus yang dibangkitkan oleh gelombang adalah *longshore currents* dan *rip currents*. Dari sekian banyak jenis arus yang ada, pada permukaan laut gaya pendorongnya didominasi oleh angin dan pasang surut. <sup>[4]</sup>



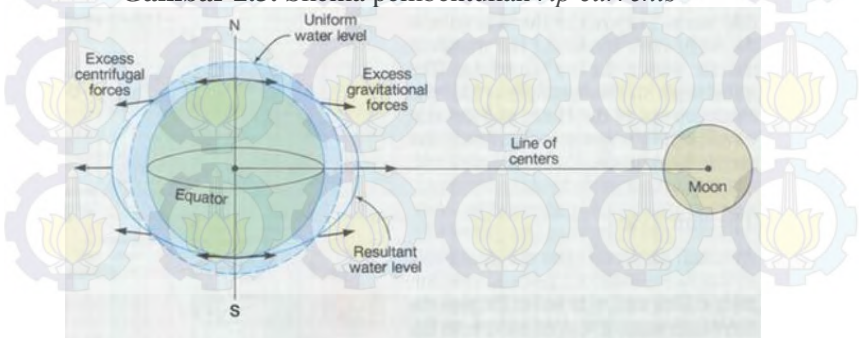
**Gambar 2.1** Skema sirkulasi termohalin global <sup>[5]</sup>



**Gambar 2.2.** Skema pembentukan arus geostropik di BBU <sup>[6]</sup>



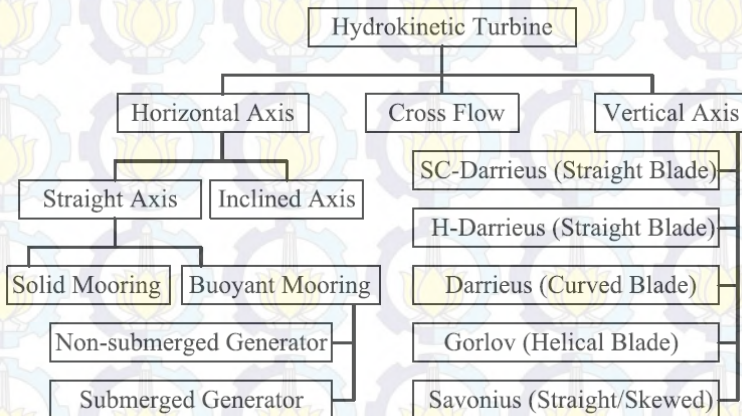
**Gambar 2.3.** Skema pembentukan *rip currents* <sup>[6]</sup>



**Gambar 2.4.** Gaya –gaya pembangkit arus laut <sup>[7]</sup>

## 2.2. Turbin Arus Laut

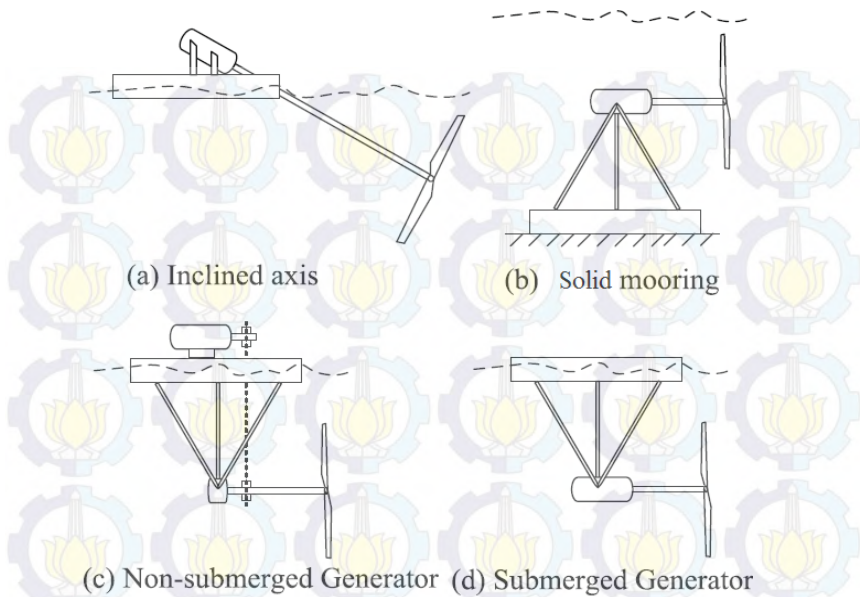
Turbin arus laut merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengekstrak potensi arus laut di Indonesia. Mekanisme turbin arus laut hampir sama seperti turbin angin, hanya berbeda pada fluida yang menggerakkannya saja. Dimana turbin angin memanfaatkan aliran fluida angin sedangkan turbin arus laut memanfaatkan pergerakan massa fluida air laut untuk memutar turbin agar dapat menghasilkan listrik. Turbin arus laut dapat menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan turbin angin karena perbedaan massa jenis yang sangat besar antara fluida angin dengan fluida air laut.



**Gambar 2.5** Jenis - jenis *hydrokinetic turbine* <sup>[8]</sup>

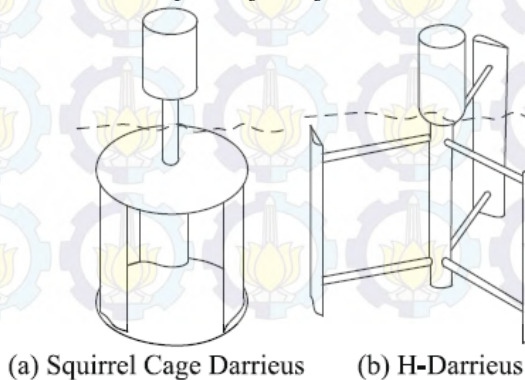
Turbin arus laut merupakan bagian dari *hydrokinetic turbine*, dimana *hydrokinetic turbine* dibagi menjadi 3 bagian berdasarkan arah rotasi turbin terhadap arah aliran fluida yang melewati turbin. Turbin *Horizontal Axis* (atau sering disebut *axial flow*) memiliki sumbu rotasi yang sejajar dengan aliran fluida. Berikut merupakan jenis-jenis turbin *horizontal axis*.



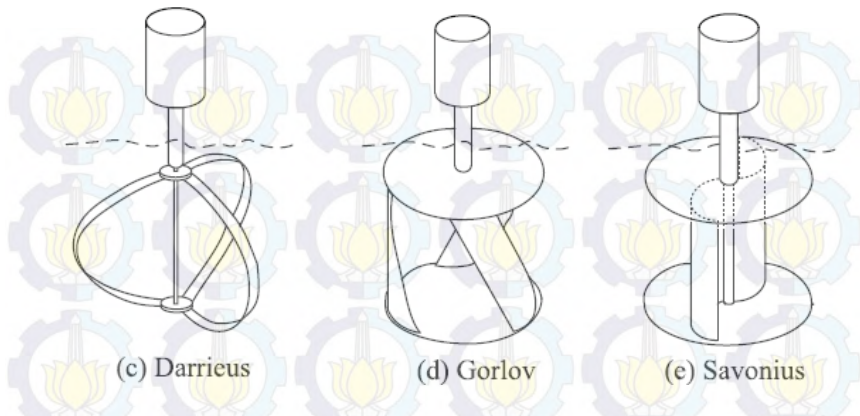


**Gambar 2.6** Jenis – jenis turbin *horizontal axis* <sup>[8]</sup>

Turbin *Cross Flow* memiliki memiliki sumbu rotasi yang orthogonal terhadap arah aliran fluida sedangkan turbin *vertical axis* memiliki sumbu rotasi yang tegak lurus terhadap arah aliran fluida. Berikut merupakan jenis-jenis turbin *vertical axis*.







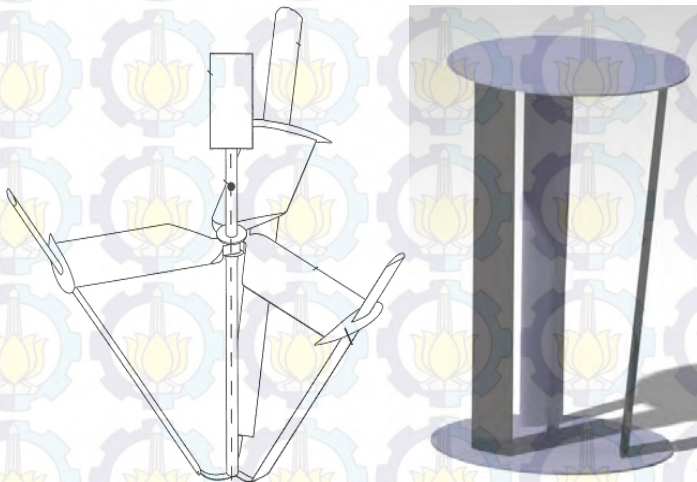
**Gambar 2.7** Jenis jenis turbin *vertical axis* <sup>[8]</sup>

Masing – masing jenis turbin tersebut memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Turbin sumbu horizontal memiliki kelebihan efisiensi yang lebih tinggi, memiliki kemampuan *self starting* yang lebih besar, memiliki rasio biaya terhadap daya yang dihasilkan lebih rendah sedangkan kekurangannya yaitu mengharuskan pemasangan generator dan gearbox dekat dengan rotor sehingga membuat perawatan yang lebih susah dan memerlukan bagian tambahan seperti ekor yang digunakan untuk mengarahkan turbin ketika arah aliran fluida berubah. <sup>[10]</sup>

Turbin sumbu vertikal memiliki kelebihan yaitu kemudahan dalam perawatan karena generator dan gearbox dapat diletakkan jauh dari rotor turbin atau berada dipermukaan air laut, lalu dapat menerima arah aliran fluida dari mana saja, dapat beroperasi pada aliran fluida yang rendah, dan desain blade yang sederhana sehingga biaya fabrikasi blade dapat diminimalkan. Kekurangan turbin sumbu vertical adalah tidak memiliki kemampuan *self starting* atau kemampuan *self starting* yang buruk, sehingga dapat mengakibatkan blade pada turbin menjadi patah dan menimbulkan getaran pada blade, lalu kekurangan lainnya turbin sumbu vertikal memiliki efisiensi yang rendah serta susah untuk mengendalikan kecepatan blade yang terlalu tinggi. <sup>[10]</sup>

### i. Turbin *V-Straight*

Turbin *V-Straight* merupakan pengembangan dari turbin vertikal aksis tipe *squirrel cage darrieus*. Geometri turbin ini terdiri dari blade yang menggunakan airfoil berupa NACA 0018 dan berbentuk *straight*/lurus namun ukuran diameter turbin pada bagian atas dan bawahnya berbeda. Diameter turbin pada bagian bawah lebih kecil dibandingkan dengan diameter turbin pada bagian atas, sehingga dari samping terlihat seperti turbin yang berbentuk huruf V.

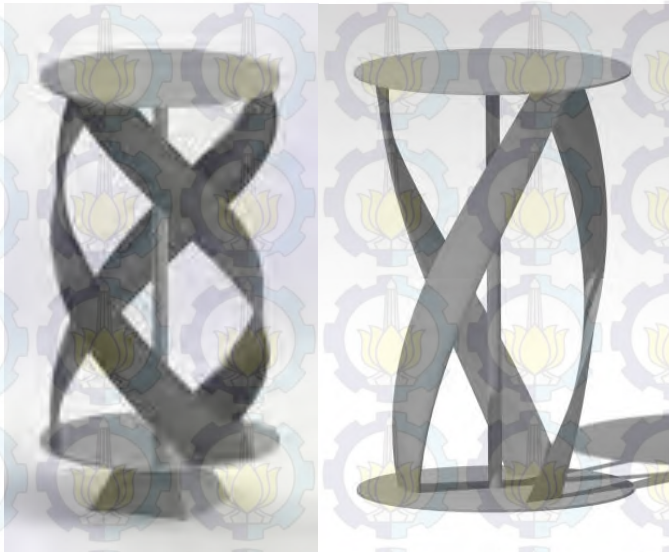


**Gambar 2.8 Turbin *V-Straight Blade*** <sup>[11]</sup>

### ii. Turbin *V-Helical*

Turbin *V-Helical* merupakan pengembangan atau modifikasi antara turbin *V-Straight* dengan turbin Gorlov (*Helical Blade*). Turbin Gorlov merupakan pengembangan terkini dari jenis turbin sumbu vertikal, turbin gorlov ini dipatenkan oleh Alexander M. Gorlov, seorang Professor *Mechanical Engineering* di Universitas Northeastern di Boston, MA. Beliau menerima anugerah *Edison Patent Award* untuk desain turbin helical ini. Turbin Gorlov memiliki bentuk helical dan saat aliran fluida melewati turbin, maka akan dipastikan setiap bagian blade yang berbentuk helical

ini akan terkena aliran fluida. Hal ini akan mengurangi efek getaran yang terjadi pada turbin gorlov <sup>[12]</sup>. Disamping itu turbin gorlov juga dapat menghasilkan torsi yang lebih konstan. Penelitian turbin helical sampai saat ini mendapatkan nilai efisiensi turbin sebesar 41.2% <sup>[13]</sup>. Pada penelitian kali ini akan digunakan jenis turbin *V-Helical*, dimana pada turbin jenis *V-Straight* sebelumnya diputar/*twist* sehingga akan berbentuk seperti untaian rantai DNA. Namun diameter bawah turbin lebih kecil dibandingkan dengan diameter atas turbin. Berikut merupakan gambar turbin Gorlov dan turbin *V-Helical*.



**Gambar 2.9 Turbin Gorlov dan *V-Helical Blade***

### **2.3. Karakteristik Hidrodinamika**

Hidrodinamika adalah ilmu yang mempelajari pengaruh aliran air terhadap benda kerja yang bergerak melewati aliran tersebut yang terjadi akibat gerak relatif antara fluida dan benda bersangkutan. Gaya apung dan gaya gravitasi yang dialami benda tidak termasuk karena gaya-gaya itu static dan tidak menimbulkan efek-efek dinamik serta kerjanya tidak bergantung pada gerak relatif fluida dan benda bersangkutan <sup>[14]</sup>.



Untuk mendapatkan rancangan turbin Darrieus yang hidrodinamis, karakteristik hidrodinamika seperti bentuk geometri dan gaya-gaya yang bekerja sangatlah penting untuk mendapatkan laju percepatan dan gaya angkat yang optimum guna menentukan kualitas benda tersebut. Gaya-gaya yang terjadi adalah gaya diantara benda dengan fluida, oleh karena itu dalam bagian ini akan dijelaskan tentang geometri benda dan komponen-komponen gaya.

### 2.3.1. Konsep gaya angkat (*Lift*) dan gaya hambat (*Drag*)

Ketika sebuah benda apapun bergerak melalui sebuah fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi; efek ini dapat digambarkan dalam bentuk gaya-gaya pada pertemuan antar-muka fluida benda. Hal ini dapat digambarkan dalam tegangan – tegangan geser dinding,  $\tau_w$ , akibat efek viskos dan tegangan normal akibat tekanan,  $p$ . Distribusi tegangan geser dan tekanan yang bisa ditunjukkan pada Gambar 2.10 a dan 2.10 b. Baik  $\tau_w$  dan  $p$  bervariasi besar dan arahnya disepanjang permukaan.

Seringkali berguna jika kita mengetahui distribusi terperinci dari tegangan geser dan tekanan di seluruh permukaan benda, meskipun informasi serupa sulit untuk didapatkan. Namun demikian, seringkali yang diperlukan hanya efek resultan secara keseluruhan. Gaya resultan dengan arah yang sama (sejajar) kecepatan hulu disebut sebagai gaya hambat (*drag*),  $D$ , dan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai gaya angkat (*lift*),  $L$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 c. Untuk beberapa benda tiga dimensi, mungkin juga terdapat sebuah gaya samping yang tegak lurus terhadap bidang yang memuat  $D$  dan  $L$ .

Resultan dari tegangan geser dan distribusi tekanan dapat diperoleh dengan mengintegrasikan pengaruh-pengaruh dari kedua besaran ini pada permukaan benda seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.11. Komponen  $x$  dan  $y$  dari gaya fluida pada elemen luas kecil sebesar  $dA$  adalah

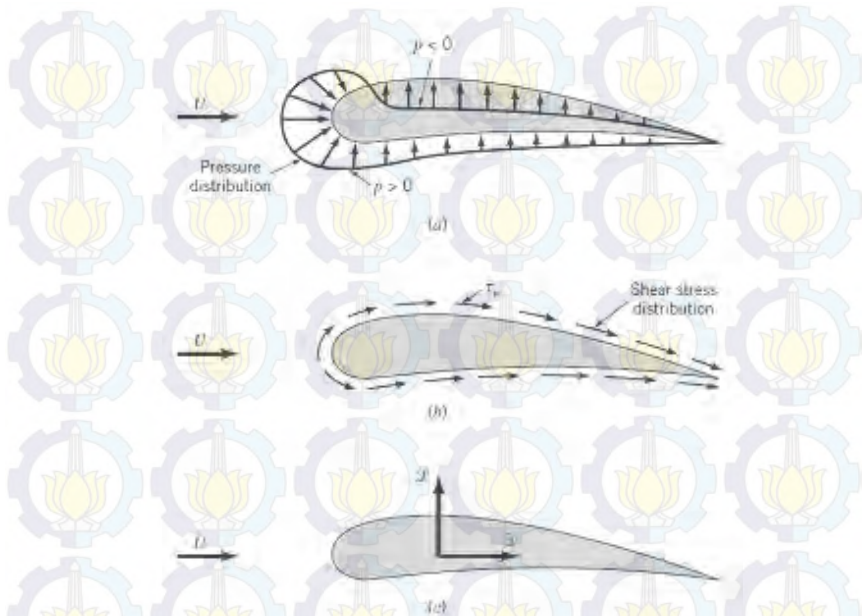
$$dF_x = (pdA) \cos\theta + (\tau_w dA) \sin\theta \quad (2.1)$$

dan

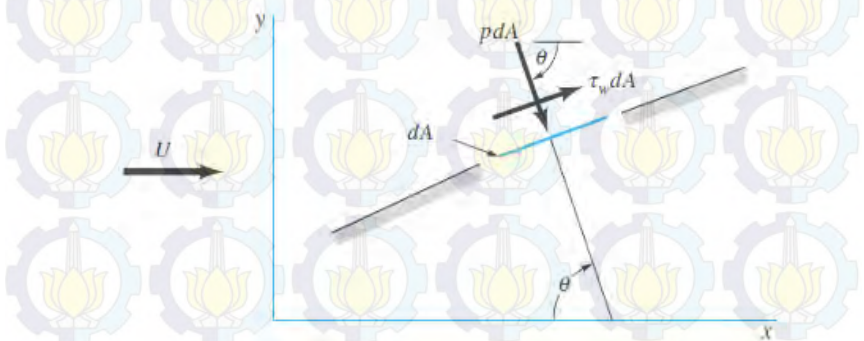
$$dF_y = -(pdA) \sin\theta + (\tau_w dA) \cos\theta \quad (2.2)$$



Jadi, komponen  $x$  dan  $y$  netto dari gaya pada benda adalah



**Gambar 2.10.** Gaya-gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi: a. gaya tekanan, b. gaya viskos, c. gaya resultan (*lift* dan *drag*) <sup>[15]</sup>



**Gambar 2.11.** Gaya tekanan dan gaya geser pada sebuah elemen kecil dari permukaan sebuah benda <sup>[15]</sup>

$$D = \int dF_x = \int p \cos\theta \, dA + \int \tau_w \sin\theta \, dA \quad (2.3)$$

dan

$$L = \int dF_y = - \int p \sin\theta \, dA + \int \tau_w \cos\theta \, dA \quad (2.4)$$

Tentu saja untuk melakukan pengintegralan dan menentukankan *lift* dan *drag*, kita harus mengetahui bentuk benda (yaitu,  $\theta$  sebagai suatu fungsi dari lokasi di sepanjang benda) dan distribusi dari  $\tau_w$  dan  $\rho$  di sepanjang permukaan. Distribusi – distribusi ini seringkali sangat sulit didapatkan, baik secara eksperimental maupun secara teoritis. Distribusi tekanan dapat diperoleh secara eksperimental tanpa banyak kesulitan dengan menggunakan srangkaian tap tekanan static sepanjang permukaan benda. Di sisi lain, biasanya sangat sulit untuk mengukur distribusi tegangan geser dinding.

Kelihatannya baik tegangan geser maupun tekanan sama-sama memberikan kontribusi terhadap *lift* dan *drag*, karena untuk sembarang benda  $\theta$  tidak nol ataupun  $90^\circ$  pada benda. Pengecualian adalah pelat datar yang diatur baik sejajar terhadap aliran hulu ( $\theta=90^\circ$ ) atau tegak lurus terhadap aliran hulu ( $\theta=0$ ).

Meskipun persamaan 2.3 dan 2.4 berlaku untuk benda apapun, kesulitan dalam pemakaiannya terletak pada bagaimana mendapatkan distribusi tegangan geser dan tekanan yang sesuai pada permukaan benda. Banyak sekali upaya telah dilakukan dalam menentukan besaran-besaran ini, tetapi karena berbagai kerumitan yang terlibat, informasi mengenai hal tersebut hanya tersedia untuk beberapa situasi sederhana.

Tanpa informasi terperinci yang berkaitan dengan distribusi tegangan geser dan tekanan pada benda. Persamaan 2.3 dan 2.4 tidak dapat digunakan. Alternatif yang banyak digunakan adalah dengan mendefinisikan koefisien *lift* dan *drag* yang tak berdimensi dan menentukan nilai-nilai perkiraannya dengan cara-cara baik menggunakan analisis yang disederhanakan, atau dengan beberapa teknik numeric, atau eksperimen yang sesuai. *Koefisien lift*,  $C_L$  dan *koefisien drag*,  $C_D$ , didefinisikan sebagai <sup>[15]</sup> :

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.5)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.6)$$

dimana :

- $C_D$  = koefisien gaya hambat (*drag*)
- $C_L$  = koefisien gaya angkat (*lift*)
- $\rho$  = densitas fluida ( $\text{kg/m}^3$ )
- $A$  = luasan sapuan fluida ( $\text{m}^2$ )
- $V$  = kecepatan fluida relatif terhadap obyek ( $\text{m/s}$ ) <sup>[15]</sup>

## 2.4. Hydrofoil

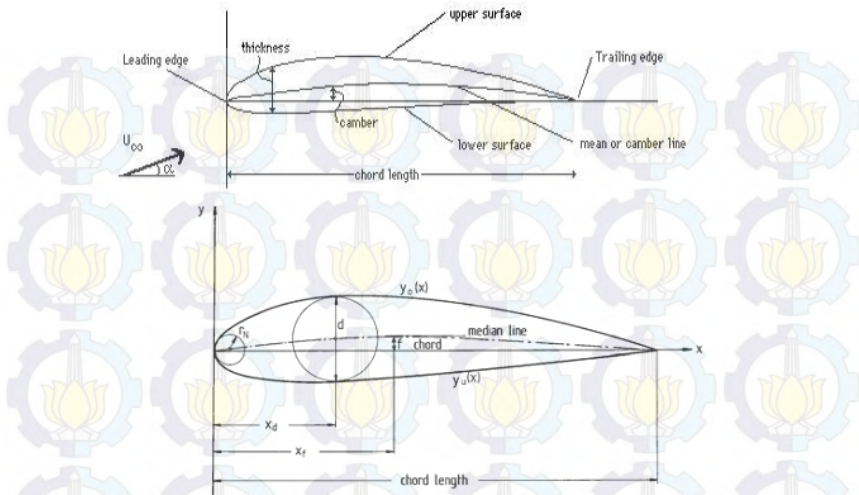
Hydrofoil merupakan suatu bentuk sayap atau sudu (dari rotor, baling-baling atau turbin) yang memiliki bentuk, sifat dan tujuan yang menyerupai airfoil. Yang membedakan antara hydrofoil dan airfoil hanyalah media kerjanya. Hydrofoil bekerja pada suatu aliran air sedangkan airfoil bekerja pada suatu aliran udara. Pembahasan selanjutnya adalah airfoil, dilihat dari karakteristik dan seri dari bentuk NACA airfoil <sup>[16]</sup>.

### 2.4.1. NACA

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) airfoil adalah salah satu bentuk bodi hidrodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi airfoil. Geometri airfoil memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik hidrodinamika dengan parameter penting berupa  $CL$ , dan kemudian akan terkait dengan *lift* (gaya angkat yang dihasilkan) <sup>[17]</sup>.

NACA merupakan salah satu referensi untuk pemilihan airfoil yang populer saat ini. Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau *thickness* serta pengujiannya dilakukan pada berbagai nilai bilangan Reynold. Airfoil NACA mempunyai parameter-parameter dalam bentuknya. Gambar dibawah menunjukkan beberapa parameter yang terdapat pada airfoil NACA.





**Gambar 2.12.** Parameter geometris *airfoil* dari seri *airfoil* NACA<sup>[18]</sup>

dimana :

- $c$  adalah panjang chord
- $f$  adalah maksimum camber, sedangkan  $f / c$  adalah rasio camber
- $X_f$  adalah posisi maksimum camber
- $d$  adalah ketebalan maksimum airfoil, sedangkan  $d / c$  adalah thicknesschord ratio
- $X_d$  adalah posisi ketebalan maksimum
- $r_N$  adalah nose radius<sup>[18]</sup>

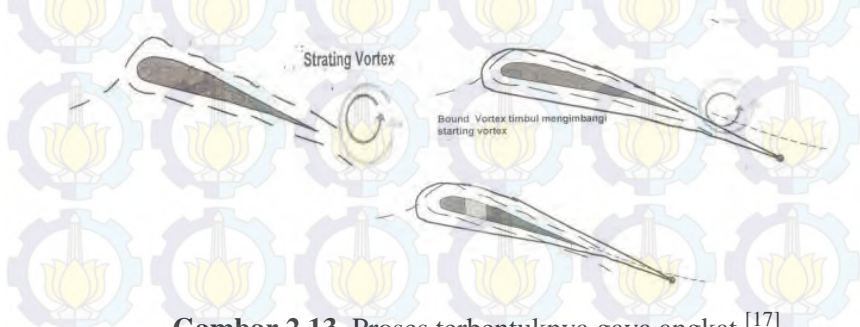
#### 2.4.2. Karakteristik Airfoil

Gaya angkat pada airfoil bergantung pada koefisien gaya angkat yang dihasilkan oleh airfoil tersebut. Koefisien gaya angkat ( $C_L$ ) dipengaruhi oleh disain bentuk camber dari airfoil.  $C_L$  yang dihasilkan oleh suatu airfoil bervariasi secara linear dengan sudut serang ( $\alpha$ ) tertentu. Kemiringan garis ditandai dengan  $a_0$  yang disebut *lift slope*. Pada daerah ini aliran udara bergerak dengan mulus dan masih menempel pada hamper seluruh permukaan airfoil. Dengan bertambah besarnya  $\alpha$ , aliran udara cenderung untuk separasi dari permukaan atas airfoil, membentuk ulakan



besar “*dead air*” di belakang airfoil. Pada aliran separasi ini, aliran udara berputar dan sebagian aliran bergerak ke arah yang berlawanan dengan aliran freestream disebut juga *reversed flow*.

Aliran yang berpisah merupakan efek dari viskositas. Konsekuensi dari perpisahan aliran pada  $\alpha$  tinggi adalah pengurangan gaya angkat dan bertambah besarnya gaya hambat akibat *pressure drag*, kondisi ini disebut kondisi stall. Harga maksimum dari  $C_L$  berada pada tepat sebelum kondisi stall yang dilambangkan dengan  $\max C_L$ .  $\max C_L$  merupakan aspek paling penting dari performa airfoil, karena menentukan kecepatan stall pesawat udara khususnya saat fasa terbang kritis yaitu terbang tinggal landas dan mendarat.



**Gambar 2.13.** Proses terbentuknya gaya angkat <sup>[17]</sup>

Berikut ini adalah proses terbentuknya gaya angkat

- Aliran udara mengalir melalui airfoil terpecah dua menjadi aliran di atas dan bawah permukaan airfoil
- Di *trailing edge* kedua aliran bersatu lagi. Namun karena perbedaan sudut arah datangnya kedua aliran tersebut, maka akan terbentuk suatu pusaran yang disebut *starting vortex*, dengan arah putaran berlawanan arah putar jarum jam
- Karena momentum putar awal aliran adalah nol, maka menurut hukum kekekalan momentum, harus timbul pusaran yang melawan arah putar *starting vortex* ini. Pusaran ini berputar searah putaran jarum jam mengelilingi airfoil dan dinamakan *bound vortex*
- *Starting vortex* akan bergeser ke belakang karena gerak maju

- Akibat adanya *bound vortex* ini, aliran di atas permukaan akan mendapat tambahan kecepatan, dan aliran di bawah permukaan akan mendapat pengurangan kecepatan
- Karena terjadi perbedaan kecepatan itulah, sesuai dengan hukum Bernoulli, timbul gaya yang arahnya ke atas dan disebut *lift* (gaya angkat) <sup>[17]</sup>

## 2.5. Daya Arus Laut

Energi kinetik arus laut dapat dituliskan dalam persamaan :

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \quad (2.7)$$

dimana  $m$  adalah massa (kg) dan  $V$  adalah kecepatan (m/s)

Volume air laut yang mengalir melalui rotor turbin *V-Straight* dan *V-Helical* adalah berbentuk prisma dengan alas dan tutupnya berupa trapesium (Gambar 2.6). Besar aliran massa yang melalui rotor turbin tiap sekon dan energi yang dibawa oleh massa air laut tiap sekon ditunjukkan dengan persamaan berikut :

$$\dot{E} = \frac{1}{2} \dot{m} V^2 \quad (2.8)$$

$$\dot{m} = \rho A V \quad (2.9)$$

$$A = \frac{(a+b)xt}{2} \quad (2.10)$$

dimana  $A$  adalah luasan daerah dari trapesium dan besarnya, dengan  $a$  adalah diameter turbin atas dan  $b$  adalah diameter turbin bawah. Dengan demikian daya dapat didefinisikan sebagai laju energi arus laut yang melewati suatu luasan rotor turbin per satuan waktu.

$$P = \dot{E} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.11)$$

Dimana  $P$  adalah daya yang dihasilkan,  $\rho$  adalah massa jenis fluida air laut,  $A$  adalah luasan daerah sapuan turbin, dan  $V$  adalah kecepatan arus laut <sup>[19]</sup>.

## 2.6. Daya Rotor dan Torsi Rotor

Pada kenyataannya turbin arus laut tidak bisa memperoleh semua daya dari aliran arus laut ketika aliran tersebut melewati rotor turbin. Hal itu berarti sebagian energi kinetik dari arus laut ditransfer ke rotor dan sisanya meninggalkan rotor. Besarnya

energi arus laut yang dapat diekstrak menjadi energi mekanik rotor didefinisikan sebagai efisiensi atau sering disebut sebagai koefisien daya,  $C_p$ . Koefisien daya rotor merupakan perbandingan antara daya keluaran yang dihasilkan oleh rotor dengan daya arus laut secara teoritis.

$$C_p = \frac{2P_T}{\rho AV^3} \quad (2.12)$$

dimana  $P_T$  adalah daya keluaran dari turbin. Koefisien daya sebuah turbin tergantung dari banyak factor seperti profil blade rotor, susunan blade, pengaturan blade dan lain – lain.

Untuk mencari nilai torsi rotor dibutuhkan mendefinisikan gaya *thrust* rotor terlebih dahulu, berikut merupakan penjelasan gaya *thrust* rotor:

$$F = \frac{1}{2} \rho AV^2 \quad (2.13)$$

lalu torsi rotor secara teoritis akan menjadi:

$$T = \frac{1}{2} \rho AV^2 R \quad (2.14)$$

dengan  $R$  adalah jari – jari rotor turbin.

Torsi dari sebuah rotor turbin dalam kenyataannya akan lebih kecil dibandingkan dengan nilai teoritisnya. Hal ini dapat dijelaskan sebagai koefisien torsi yaitu perbandingan antara torsi aktual dengan torsi teoritisnya.

$$C_T = \frac{2T}{\rho AV^2 R} \quad (2.15)$$

dimana  $T$  merupakan torsi aktual yang dihasilkan oleh rotor.

Dalam mencari efisiensi interaksi diantara rotor dengan aliran fluida arus laut dapat dijelaskan melalui *tip speed ratio (TSR)*. TSR merupakan perbandingan antara kecepatan diujung blade dengan kecepatan aliran arus laut.

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (2.16)$$

dimana  $\omega$  merupakan kecepatan sudut atau kecepatan angular blade turbin. Selain itu koefisien torsi dan koefisien daya dapat dirumuskan menjadi *tip speed ratio* dengan cara sebagai berikut <sup>[19]</sup>:

$$\frac{C_p}{C_T} = \frac{\omega R}{V} = \lambda \quad (2.17)$$



## 2.6. Simulasi berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

CFD merupakan metode numeric yang dapat digunakan untuk memprediksikan aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi dalam sistem yang kompleks. CFD banyak diaplikasikan secara luas baik di dunia industri maupun selain industri. Bertujuan untuk mengurangi waktu dan biaya yang diperlukan dalam mendesain model. Dalam menganalisis masalah aliran fluida terdapat tiga tahapan dalam proses simulasi CFD, yaitu :

### ***Pre-processing***

*Pre processing* adalah suatu proses awal pada simulasi CFD, dimana pada proses ini dilakukan pendefinisian geometri yang telah dibuat sebelumnya pada *design modeler*. Pendefinisian tersebut dilakukan dalam bentuk domain dan kondisi batas atau *boundary condition*. Pada tahapan ini juga dilakukan pendefinisian kondisi awal dan pemasukan nilai parameter fisika yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Selanjutnya dilakukan tahapan berikutnya yaitu *solving*.

### ***Solving***

*Solving* adalah tahapan dalam simulasi CFD yang dilakukan dengan cara menghitung data parameter fisika yang telah dimasukkan bersamaan dengan model geometri. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan metode numerik seperti elemen hingga, beda hingga dan volume hingga. Pada tahapan *solving* ini akan dilakukan proses iterasi data hingga mendapatkan nilai error sesuai dengan batas error yang telah ditentukan atau dapat dikatakan sudah konvergen. Lalu tahapan selanjutnya adalah proses *post – processing*.

### ***Post-processing***

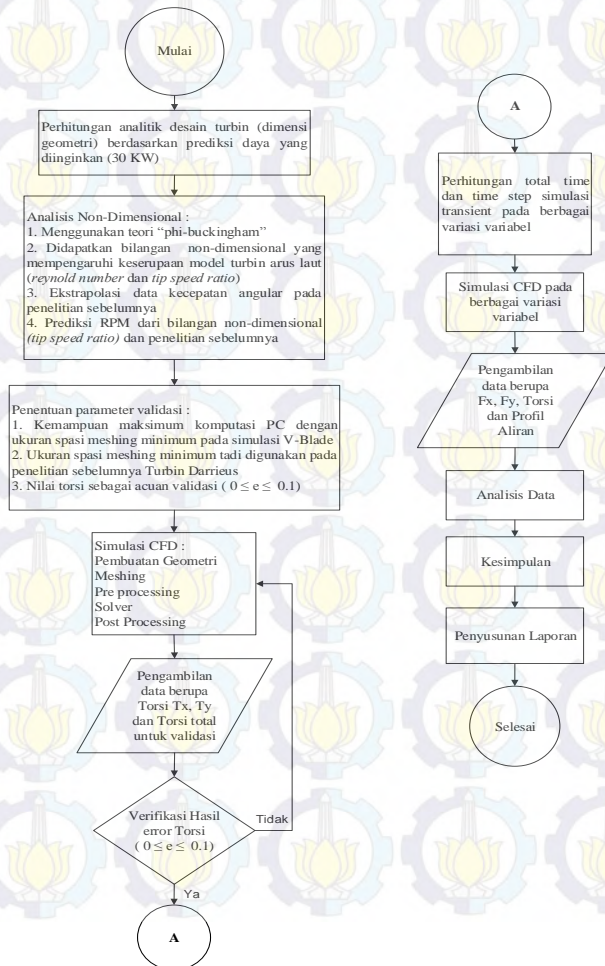
*Post-processing* adalah tahapan terakhir dalam simulasi CFD., dimana dalam tahapan ini kita dapat mengetahui profil aliran, seperti kontur kecepatan, tekanan, suhu dan lain-lain. Lalu kita juga dapat mengetahui nilai variable yang ingin ditinjau, seperti nilai gaya dalam arah sumbu x dan y, lalu nilai torsi dalam arah sumbu x dan y.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Secara umum tahapan penelitian Tugas Akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir seperti Gambar 3.1. di bawah ini.



**Gambar 3.1.** Skema diagram alir penelitian Tugas Akhir

### 3.2. Desain Turbin

Berdasarkan daya keluaran turbin yang diinginkan sebesar 30KW, lalu dibuat perhitungan analitiknya agar mendapatkan desain turbin berupa dimensi geometri. Dengan menggunakan turbin V-Straight yang luas sapuannya berupa trapesium, aspek rasio 8, kecepatan aliran fluida arus laut sebesar 2 m/s, massa jenis  $\rho = 1027 \text{ kg/m}^3$ , dan dengan menggunakan persamaan daya  $P = \eta \frac{1}{2} \rho A V^3$ , dimana  $\eta$  merupakan koefisien daya yang diasumsikan 30% serta daya keluaran yang diinginkan adalah 30 kW, sehingga didapatkan luasan sapuan turbin yang harus dibuat sebesar  $A = 24.34275 \text{ m}^2$ . Sudut V pada bagian bawah turbin diasumsikan sebesar  $10^\circ$  dengan panjang chord 1 meter dan tinggi turbin 8 meter, maka didapatkan rincian desain sebagai berikut :

Diameter atas = 3.84 m  $\approx$  4m

Diameter bawah = 2.497 m  $\approx$  3m

### 3.3. Metode Analisis Non-Dimensional

a. Dengan menggunakan teori “*Pi-Buckingham*” didapatkan hubungan antar variabel yang mempengaruhi besar daya keluaran turbin. Hubungan antar variabel tersebut dapat disebut sebagai bilangan non-dimensional. Berikut merupakan cara menurunkan bilangan non-dimensional yang menunjukkan hubungan variabel-variabel dengan daya keluaran turbin :

Langkah 1. Menuliskan semua variabel yang mempengaruhi besarnya daya keluaran turbin

$$P = f(D, \omega, \rho, \mu, V)$$

Langkah 2 Menyatakan setiap variabel tersebut dalam bentuk dimensi dasar (*MLT* atau *FLT*)

$$P = FLT^{-1}$$

$$D = L$$

$$\begin{aligned}\rho &= FL^{-4}T^2 & \mu &= FL^{-2}T \\ V &= LT^{-1} & \omega &= T^{-1}\end{aligned}$$

Langkah 3 Menentukan jumlah bentuk pi-nya, yaitu dari jumlah variabel ( $k-6$ , termasuk variabel tak bebas  $P$ ) dikurangi dengan jumlah dimensi rujukan yang diperlukan ( $r-3$ ).

$$n\pi = k - r = 6 - 3 = 3 \text{ bentuk pi}$$

Langkah 4 Memilih jumlah variabel yang berulang, dimana jumlah variabel yang berulang sama dengan jumlah dimensi rujukan (biasanya sama dengan jumlah dimensi dasar)

Misalkan variabel yang berulang yaitu  $\rho, V$  dan  $D$

Langkah 5 Membuat bentuk pi dengan melakukan perkalian antara satu variabel tak berulang (misal  $P$ ) dan variabel berulang ( $\rho, V$  dan  $D$ ), dimana masing – masing variabel akan menghasilkan pangkat yang akan membuat suatu kombinasi tak – berdimensi

$$\begin{aligned}\pi_1 &= P \cdot D^a \cdot V^b \cdot \rho^c \\ F^0 L^0 T^0 &= (FLT^{-1})(L)^a (LT^{-1})^b (FL^{-4}T^2)^c\end{aligned}$$

sehingga dapat ditulis :

$$0 = 1 + c \quad (\text{untuk } F)$$

$$0 = 1 + a - b - 4c \quad (\text{untuk } L)$$

$$0 = 1 - b + 2c \quad (\text{untuk } T)$$

dengan menyelesaikan persamaan diatas didapatkan nilai  $a = -2$ ,  $b = -3$ , dan  $c = -1$ , sehingga

$$\pi_1 = \frac{P}{\rho D^2 V^3}$$

Langkah 6 Mengulangi langkah 5 untuk setiap variabel yang tersisa ( $\mu$  dan  $\omega$ )

Untuk variabel :

$$\pi_2 = \mu \cdot D^a \cdot V^b \cdot \rho^c$$

$$F^0 L^0 T^0 = (FL^{-2}T)(L)^a (LT^{-1})^b (FL^{-4}T^2)^c$$

sehingga dapat ditulis :

$$0 = 1 + c \quad (\text{untuk } F)$$

$$0 = -2 + a + b - 4c \quad (\text{untuk } L)$$

$$0 = 1 - b + 2c \quad (\text{untuk } T)$$

dengan menyelesaikan persamaan diatas didapatkan nilai  $a = -1$ ,  $b = -1$ , dan  $c = -1$ , sehingga

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho V D}$$

Selanjutnya untuk variabel lainnya :

$$\pi_3 = \omega \cdot D^a \cdot V^b \cdot \rho^c$$

$$F^0 L^0 T^0 = (T^{-1})(L)^a (LT^{-1})^b (FL^{-4}T^2)^c$$

sehingga dapat ditulis :

$$0 = c \quad (\text{untuk } F)$$



$$0 = a + b - 4c \quad (\text{untuk } L)$$

$$0 = -1 - b + 2c \quad (\text{untuk } T)$$

dengan menyelesaikan persamaan diatas didapatkan nilai  $a = 1$ ,  $b = -1$ , dan  $c = 0$ , sehingga

$$\pi_3 = \frac{\omega D}{V}$$

Langkah 7 Memeriksa kembali selluruh hasil bentuk pi untuk memastikan bahwa semuanya tak-berdimensi

$$\pi_1 = \frac{P}{\rho D^2 V^3} = \frac{(FLT^{-1})}{(FL^{-4}T^2).(L)^2.(LT^{-1})^3} = F^0 L^0 T^0$$

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho V D} = \frac{(FL^{-2}T)}{(FL^{-4}T^2).(LT^{-1}).(L)} = F^0 L^0 T^0$$

$$\pi_3 = \frac{\omega D}{V} = \frac{(T^{-1}).(L)}{(LT^{-1})} = F^0 L^0 T^0$$

Langkah 8 Menyatakan bentuk akhir penyelesaian tersebut sebagai hubungan antar bentuk pi.

$$\frac{P}{\rho D^2 V^3} = f\left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{\omega D}{V}\right)$$

- b. Didapatkan bilangan non-dimensional yang mempengaruhi keserupaan model turbin arus laut, yaitu *reynold number*, *tip speed ratio* dan *coefficient power*

$$\frac{P}{\rho D^2 V^3} = f\left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{\omega D}{V}\right)$$

$$\text{Reynold Number, } Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$\text{Tip Speed Ratio, } TSR = \frac{\omega D}{V}$$

$$\text{Coefficient Power, } Cp = \frac{P}{\rho D^2 V^3}$$

dimana dari bilangan non-dimensional, *Tip Speed Ratio* (TSR) dapat digunakan untuk memprediksi kecepatan angular ( $\omega$ ) turbin V-Blade dengan mengacu pada turbin penelitian sebelumnya

$$\frac{\omega_1 D_1}{V_1} = \frac{\omega_2 D_2}{V_2}$$

dengan keterangan sebagai berikut :

$\omega_1$  = kecepatan angular turbin penelitian sebelumnya

$\omega_2$  = kecepatan angular turbin V-Blade

$D_1$  = diameter turbin penelitian sebelumnya

$D_2$  = diameter turbin V-Blade

$V_1$  = kecepatan arus laut turbin penelitian sebelumnya

$V_2$  = kecepatan arus laut turbin V-Blade

- c. Dari penelitian sebelumnya diekstrapolasi data kecepatan angular ( $\omega_1$ ) pada kecepatan aliran (0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2) m/s, dengan diameter ( $D_1 = 1m$ ).
- d. Didapatkan prediksi kecepatan angular RPM ( $\omega_2$ ) turbin V-Blade yang akan dibuat pada kecepatan aliran (0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2) m/s dan pada semua variasi dimensi..

### 3.4. Penentuan Parameter Validasi

Berhubung dengan keterbatasan hardware dalam melakukan komputasi dan dimensi turbin yang akan dibuat dalam skala besar, serta dalam penelitian ini tidak dilakukan eksperimen, maka langkah yang dilakukan dalam melakukan validasi adalah dengan cara sebagai berikut :

- a. Menentukan ukuran spasi meshing minimum yang masih sanggup dilakukan oleh kemampuan komputasi PC pada simulasi turbin *V-Blade*

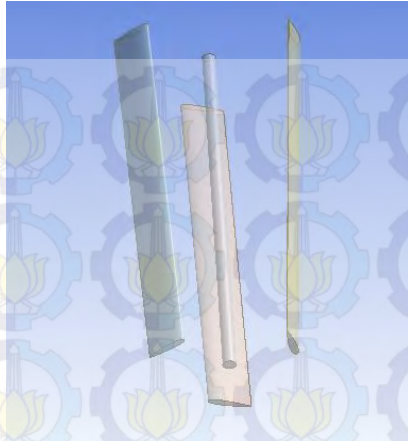
- b. Ukuran spasi meshing minimum pada simulasi *V-Blade* yang masih sanggup dilakukan oleh PC tersebut digunakan pada simulasi turbin penelitian sebelumnya (turbin darrieus) untuk mencari nilai errornya
- c. Dari simulasi turbin penelitian sebelumnya tersebut (turbin darrieus) dengan menggunakan ukuran spasi meshing minimum, akan didapatkan nilai torsi simulasi. Nilai torsi simulasi ini dibandingkan dengan nilai torsi eksperimen pada penelitian sebelumnya, sehingga akan didapatkan nilai error, dimana nilai error tersebut akan dijadikan sebagai acuan validasi ( $0 \leq e \leq 10\%$ )

### **3.5.Simulasi CFD Pembuatan Geometri**

Simulasi CFD diawali dengan pembuatan geometri turbin yang dilakukan dengan menggunakan Design Modeler.

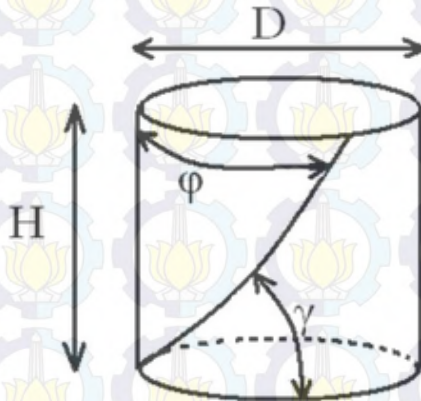
Langkah pertama yaitu dengan membuat titik atau point sesuai bentuk NACA 0018 dari file koordinat yang sudah ada dengan format text, lalu membuat curve dari file koordinat yang sama juga. Karena pada file koordinat tidak terbentuk satu titik di bagian ujung *trailing edge* airfoil melainkan terbentuk 2 titik, maka harus dibuat garis yang menghubungkan 2 titik tersebut agar airfoil dapat berupa garis atau line yang terhubung. Sehingga dapat dilakukan langkah selanjutnya yaitu membuat surface dari garis atau line airfoil yang terhubung tadi dan surface yang terbentuk dapat dicopy dengan menggunakan pattern. Untuk membuat copy surface tersebut dapat dilakukan secara linear ataupun circular terhadap suatu sumbu tertentu. Dalam penelitian ini di copy secara linier dalam arah sumbu z dan di translate dengan menggunakan body operation kearah mendekati sumbu z sejauh 0.5 m. Hal ini dilakukan agar dapat dibentuk blade menyerupai bentuk huruf v (*V-Straight Blade*). Lalu digunakan lofted/skin untuk menghubungkan 2 airfoil surface yang sudah dibuat agar menjadi body berupa blade 1. Setelah body blade 1 terbentuk digunakan pattern circular lagi untuk membuat duplikatnya dengan sudut  $120^0$  untuk body blade 2 dan sudut  $240^0$  untuk body blade 3





**Gambar 3.2.** Geometri turbin *V-Straight*

Untuk turbin jenis *V-Helical Blade* dari awal hingga terbentuk surface airfoil langkahnya sama seperti pada turbin jenis *V-Straight Blade*, namun untuk membuat bentuk helical dibutuhkan lebih banyak usaha dan ketelitian. Koordinat dalam membentuk airfoil *V-Helical* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 3.3.** Skema turbin *V-Helical*



Dimana  $\varphi$  merupakan sudut fase antara blade atas dan blade bawah, lalu  $\gamma$  adalah sudut inklinasi blade terhadap sumbu horisontal, dengan rumus  $\gamma = \tan^{-1}\left[\frac{H}{\varphi(rad).R}\right]$ .

Dalam usaha membuat geometri helical blade dilakukan pembagian blade menjadi 20 segmen, dimana setiap segmen dibuat dengan copy surface airfoil setiap kenaikan jarak 2 m ke arah sumbu z positif, lalu di translate circular sebesar kenaikan sudut  $\alpha$  positif terhadap sumbu z. Begitu seterusnya di setiap segmen airfoil sehingga sudah mulai terlihat bentuk segmen foil yang berentuk helical. Langkah selanjutnya yaitu membuat body blade tersebut, namun sebelumnya perlu dibuat titik pada ujung *leading edge* airfoil dan dibuat garis atau line yang menghubungkan titik tersebut. Hal ini dilakukan agar dapat melakukan lofted atau skin pada airfoil tiap segmen. Setelah titik dan garis yang menghubungkan airfoil tiap segmen dibuat, dilakukan lofted atau skin untuk membuat body blade dari 2 surface airfoil. Hal yang sama dilakukan hingga semua surface airfoil di tiap segmen membentuk body blade. Untuk pembuatan blade 2 dan blade 3 langkahnya sama seperti pada turbin *V-Straight Blade* dengan menggunakan pattern circular sebesar  $120^\circ$  dan  $240^\circ$ .



**Gambar 3.4.** Geometri turbin *V-Blade*

### Pembuatan Box Domain dan Cylinder Sub Domain

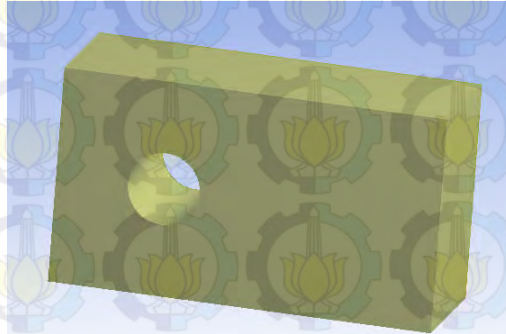
Setelah pembuatan geometri blade, perlu dilakukan pembuatan domain dan subdomain untuk menggambarkan keadaan turbin yang sedang berputar akibat aliran arus laut. Pada penelitian ini dibuat dua keadaan saat menggunakan simulasi steady state dan transient. Perbedaan pada simulasi steady state dan transient dalam hal pembuatan domain dan subdomain ini dilakukan karena dalam simulasi transient harus menggunakan moving mesh, sedangkan pada simulasi steady state tidak perlu menggunakan moving mesh. Pertama yaitu pembuatan domain dan sub domain untuk simulasi steady state yang akan dijadikan acuan validasi sesuai dengan penelitian sebelumnya, Diawali dengan pembuatan cylinder sub domain untuk menempatkan turbin yang akan berputar. Pembuatan cylinder sub domain ini dilakukan karena turbin tersebut tenggelam dalam suatu fluida berupa air laut atau sering dikatakan sebagai aliran benda terendam. Seperti pada gambar dibawah ini proses pembuatan cylinder sub domain adalah dengan cara *subtract* antara cylinder dan turbin, dengan catatan harus mengaktifkan fungsi perverse dalam boolean geometri agar nanti cylinder dapat di subtract juga oleh box untuk membentuk box domain



**Gambar 3.5.** *Cylinder Sub Domain* sebagai tempat turbin.

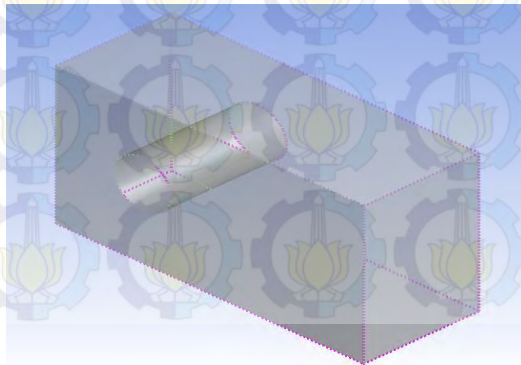
Selanjutnya adalah pembuatan domain simulasi yang dilakukan dengan cara *subtract* antara box dan cylinder. Domain simulasi atau box domain ini menggambarkan fluida air laut yang

akan membuat aliran fluida arus laut memutar turbin. Box domain ini akan didefinisikan sebagai interface dengan cylinder sub domain. Pendefinisian interface tersebut berupa fluid – fluid (water-water).



**Gambar 3.6.** *Box Domain* air laut yang telah *disubstruct* dengan *Cylinder Sub Domain*

Setelah semua proses pembuatan geometri dilakukan, mulai dari pembentukan cylinder sub domain yang dilakukan *subtract* antara turbin dengan cylinder, lalu pembentukan box domain yang dilakukan *subtract* antara box dengan cylinder, maka selanjutnya adalah penggabungan antara box domain dengan cylinder sub domain. Pada gambar xy berikut merupakan gambar antara box domain dengan cylinder sub domain yang sudah digabung.



**Gambar 3.7.** Domain total dalam simulasi CFD.





**Gambar 3.8.** Domain total dalam simulasi CFD tampak atas.

Untuk simulasi transient berbeda pengkondisian sub domain dan domainnya dengan simulasi steady state. Perbedaannya terletak pada geometri turbin dengan cylinder yang dibuat, pada simulasi transient tidak dilakukan subtract antara turbin dengan cylinder. Hal ini dilakukan karena dalam simulasi transient turbin perlu memiliki domain sendiri yang berbeda dengan box domain. Domain turbin ini nantinya akan disimulasikan sebagai moving mesh dan dapat dirotasi terhadap sumbu z dengan kecepatan angular tertentu.

### Meshing

Langkah berikutnya setelah pembuatan geometri dalam simulasi CFD yaitu melakukan meshing. Meshing merupakan suatu metode melakukan pembagian geometri menjadi bagian-bagian yang kecil. Dimana bagian – bagian kecil ini disebut sebagai control volume yang nantinya akan dilakukan perhitungan berbagai persamaan sesuai dengan kondisi aliran fluida sebenarnya, seperti persamaan massa, momentum dan energi. Pada dasarnya semakin kecil ukuran meshing akan mengakibatkan perhitungan hasil yang lebih detail pada daerah meshing tersebut. Namun berhubung kemampuan komputasi PC yang terbatas, maka ukuran meshing harus disesuaikan dan ukuran meshing tersebut dapat dibuktikan atau dikatakan sudah valid sesuai dengan kondisi sebenarnya.



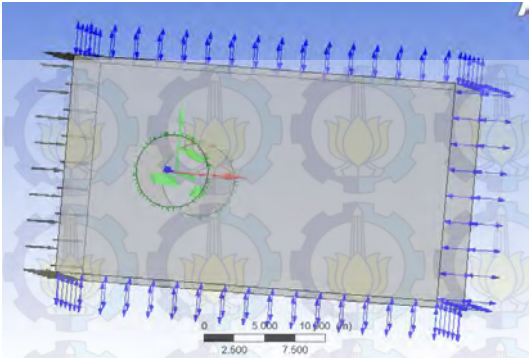
Berikut merupakan detail ukuran meshing dan metode yang digunakan dalam proses meshing pada penelitian sebelumnya dan penelitian saat ini.

**Tabel 3.1.** Ukuran meshing pada simulasi penelitian sebelumnya dan penelitian saat ini :

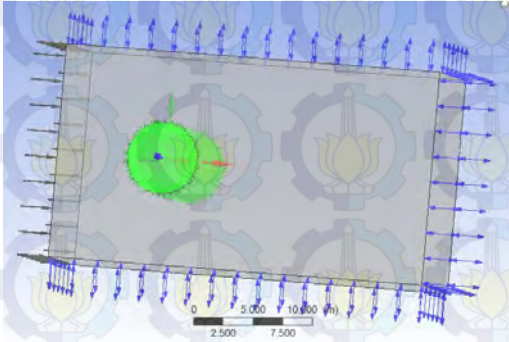
Nama Bagian	Keterangan Spasi Meshing	Ukuran Spasi Meshing	
		Penelitian Sebelumnya	Penelitian saat ini
<b>Blade 1,2,3 dan Shaft</b>	Angular resolution, [degrees] 18	min : 0.0005 m max : 0.1 m	min : 0.0005 m max : 0.1 m
<b>Box Wall dan Cylinder Wall</b>	Angular resolution, [degrees] 18	min : 0.008 m max : 0.1 m	min : 0.0095 m max : 0.3 m
<b>Inlet dan Opening</b>	Angular resolution, [degrees] 18	min : 0.005 m max : 0.1 m	min : 0.01 m max : 0.3 m
<b>BoxCurve dan CylCurve</b>	Constant Resolution	Constant Edge Length: 0.05 m	Constant Edge Length: 0.05 m

Karena besarnya domain dan keterbatasan komputasi suatu PC dalam melakukan iterasi dengan jumlah meshing yang terlalu banyak tersebut, maka dilakukan pengaturan kembali ukuran meshing sesuai dengan ukuran domain simulasi turbin *V-Blade*.

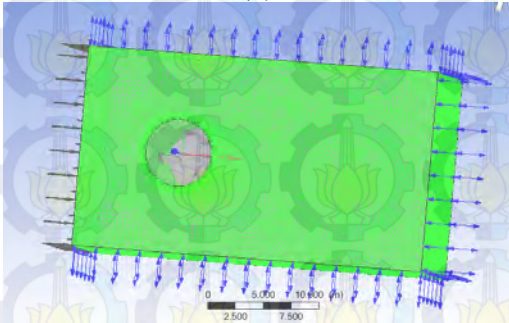
Dari detail meshing tersebut ukuran meshing pada domain interface boxcurve dan cylcurve ukurannya juga harus sama, lalu pada domain boxwall dan wall cylinder juga ukuran meshingnya harus sama.



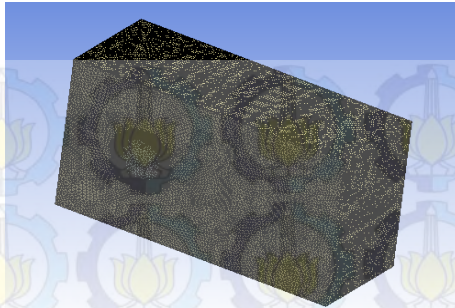
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 3.9.** Hasil Meshing pada (a) blade dan shaft, (b) domain cylinder, (c) domain box, (d) meshing total

### ***Pre Processing***

Tahapan pre processing ini merupakan tahapan untuk mendefinisikan kondisi batas atau *boundary condition* pada domain yang sudah dibuat. Setelah mendefinisikan kondisi batasnya lalu memasukkan nilai nilai parameter kondisi awal sesuai dengan keadaan sebenarnya.

Pada tahapan ini dilakukan pemilihan tipe analisis yang akan digunakan, ada 2 macam tipe analisis yaitu analisis steady state dan analisis transient. Perbedaan pemberian kondisi batas antara tipe analisis steady state dan transient adalah pada jumlah domain yang sebelumnya sudah dibuat pada tahap geometry dan meshing. Pada analisis steady state domainnya berjumlah satu saja karena box domain dan cylinder sub domain sudah jadi satu domain, sedangkan pada analisis transient domain berjumlah dua yaitu box domain dan turbin domain.

Kondisi batas atau *boundary condition* yang didefinisikan pada tahap *pre processing* ini adalah sebagai berikut :

Kondisi Batas :

- Wall Box dan Wall Cylinder : Wall
- Blade dan Shaft : Wall
- Aliran masuk : Inlet
- Aliran keluar, kanan dan kiri : Opening
- BoxCurve dan CylCurve : Interface



### Kondisi Kontinu

- Volume Laut : *Fluid (Water)*
- Volume Cylinder : *Fluid (Water)*

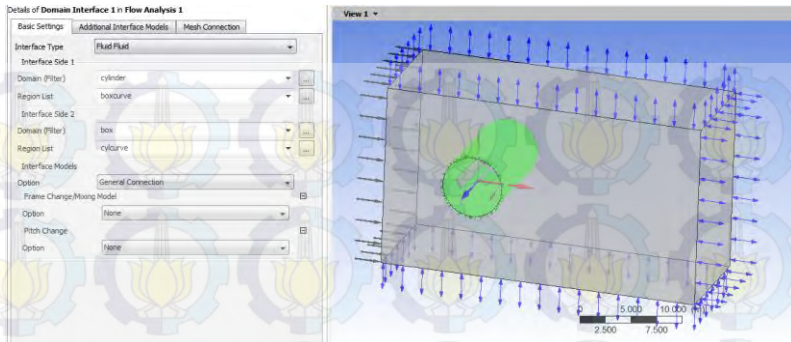
Setelah pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition* pada domain dilanjutkan dengan proses inialisasi kondisi batas tersebut. Pemberian inialisasi pada kondisi batas tersebut secara detail dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 3.2** Penentuan *boundary condition* dan inialisasi pada CFD

No	Kondisi Batas	Letak pada CFD	Inialisai
1	Wall (wall box dan wall cylinder )	Atas dan bawah	<i>Wall, free slip</i>
2	Wall	Blade (foil 1, 2, 3) dan shaft	<i>Wall, no slip, rotating wall</i> dengan kecepatan RPM sesuai hasil analisis non-dimensional
3	Inlet	Aliran masuk (bagian kiri kotak)	Inlet, pemberian kecepatan sesuai kecepatan arus laut 0.5 – 2 m/s
4	Opening (Kanan, Kiri dan Aliran Keluar)	Aliran Keluar, Kanan dan Kiri	<i>Entrainment, zero gradient dan pressure 0 Pa</i>
5	Domain Interface	BoxCurve dan CylCurve	Pendefinisian fluida (water-water)

Pada saat dilakukan domain *interface* antara *boxcurve* dengan *cylcurve*, harus benar benar diperhatikan bahwa *interface* yang dilakukan adalah antara *fluid-fluid (water-water)*. Gambar berikut menunjukkan proses pembuatan domain interface antara *boxcurve* dengan *cylcurve*.





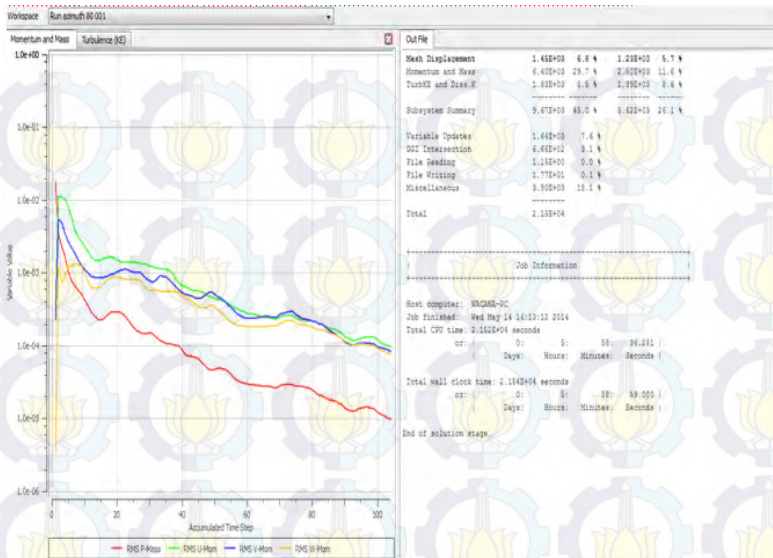
**Gambar 3.10.** Tahap pembuatan domain interface

Setelah semua proses pendefinisian *boundary condition* dan inisialisasi selesai, maka dilanjutkan dengan mengatur konvergensi kriteria dengan mengatur nilai *RMS residual error* sebesar 0.0001. Setelah semuanya diatur sesuai dengan kebutuhan simulasi kita, maka dilanjutkan ke proses selanjutnya yaitu proses iterasi pada solver.

### Proses Iterasi pada Solver

Solving merupakan suatu proses yang dilakukan dengan cara menghitung data input model geometri hingga mencapai batas nilai *error* yang telah ditentukan sebelumnya menggunakan metode iteratif. Pada saat proses solving ini, semua perhitungan dilakukan dengan didasarkan pada kondisi yang disesuaikan saat *pre processing*.

Pada proses solving menggunakan CFD ini, kriteria simulasi dianggap selesai atau konvergen ketika nilai *RMS (root mean square) error* yang dihasilkan sudah mencapai 0.0001. Gambar di bawah ini menunjukkan salah satu contoh selesainya iterasi pada solver ketika semua nilai *RMS error* sudah mencapai nilai atau parameter yang ditentukan.



**Gambar 3.11.** Salah satu contoh konvergensi pada simulasi CFD.

Setelah proses pendefinisian boundary pada pre processing serta proses iterasi pada solver selesai dilakukan maka selanjutnya akan dapat dilihat nilai torsi yang dihasilkan, hasil visualisasi tekanan, *streamline* dan vektor kecepatan yang terjadi pada turbin dalam bentuk gambar. Visualisasi yang dapat dilihat berupa vektor kecepatan, kontur tekanan dan temperatur serta visualisasi aliran dalam bentuk *streamline*. Semua visualisasi tersebut dapat dilihat di *post processing* CFD.

### **Post Processing**

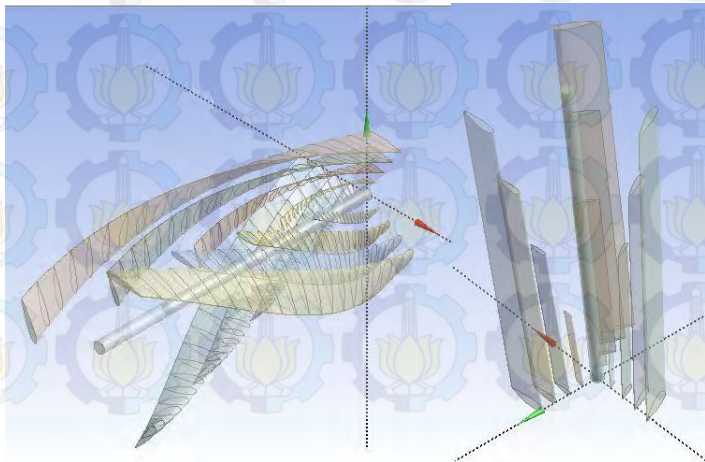
Post processing merupakan proses terakhir dalam simulasi berbasis CFD. Dalam *post processing* biasanya dilakukan pengambilan data berupa nilai torsi x, torsi y, force x, force y, kontur tekanan yang dihasilkan pada simulasi CFD.

### 3.6. Verifikasi Hasil

Setelah mendapatkan nilai torsi rata – rata pada simulasi CFD turbin penelitian sebelumnya , lalu dibandingkan dengan nilai torsi eksperimen pada penelitian sebelumnya. Didapatkan error yang digunakan sebagai acuan apakah penelitian akan lanjut ke tahap berikutnya atau harus kembali lagi ke tahap preprocessing. Jika nilai error masih diatas 10%, maka harus kembali lagi ke tahapan preprocessing dengan mengubah ukuran spasi meshing baik di blade dan shaft atau di bagian domain turbin. Jika sudah diubah ukuran spasi meshing tersebut maka dilakukan proses solver dan dilihat kembali hasil nilai torsinya. Jika nilai error torsi sudah dibawah 10% maka ukuran meshing tersebut akan dijadikan acuan pada simulasi berikutnya dengan berbagai variasi yang akan dilakukan.

### 3.7. Variasi Perubahan Dimensi Turbin

Pada penelitian ini dilakukan empat variasi perubahan dimensi, yaitu perubahan dimensi 1 kali, dimensi 2 kali, dimensi 3 kali dan dimensi 4 kali. Berikut merupakan penjelasan perubahan dimensi yang akan dilakukan.



**Gambar 3.12** Perubahan dimensi turbin *V-Straight* dan *V-Helical*



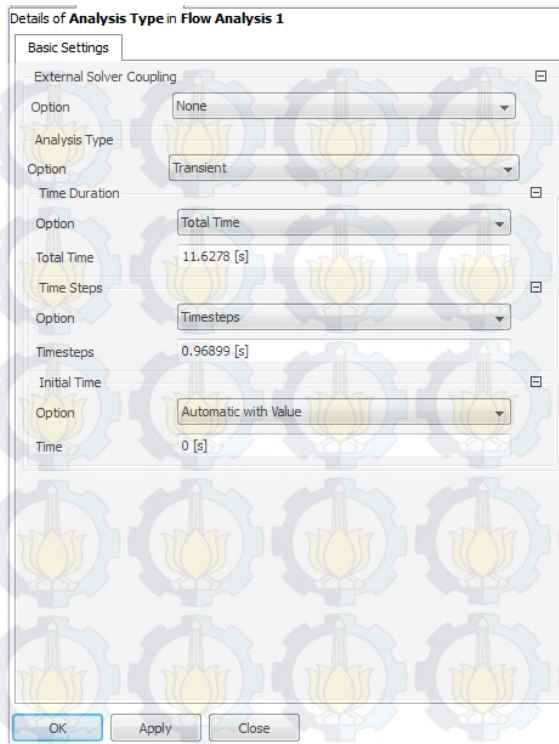
**Tabel 3.3.** Ukuran turbin pada variasi perubahan dimensi

Keterangan	Perubahan Dimensi Turbin			
	1X	2X	3X	4X
Chord	0.25 meter	0.5 meter	0.75 meter	1 meter
Diameter atas	1 meter	2 meter	3 meter	4 meter
Diameter bawah	0.75 meter	1.5 meter	2.25 meter	3 meter
Tinggi turbin	2 meter	4 meter	6 meter	8 meter

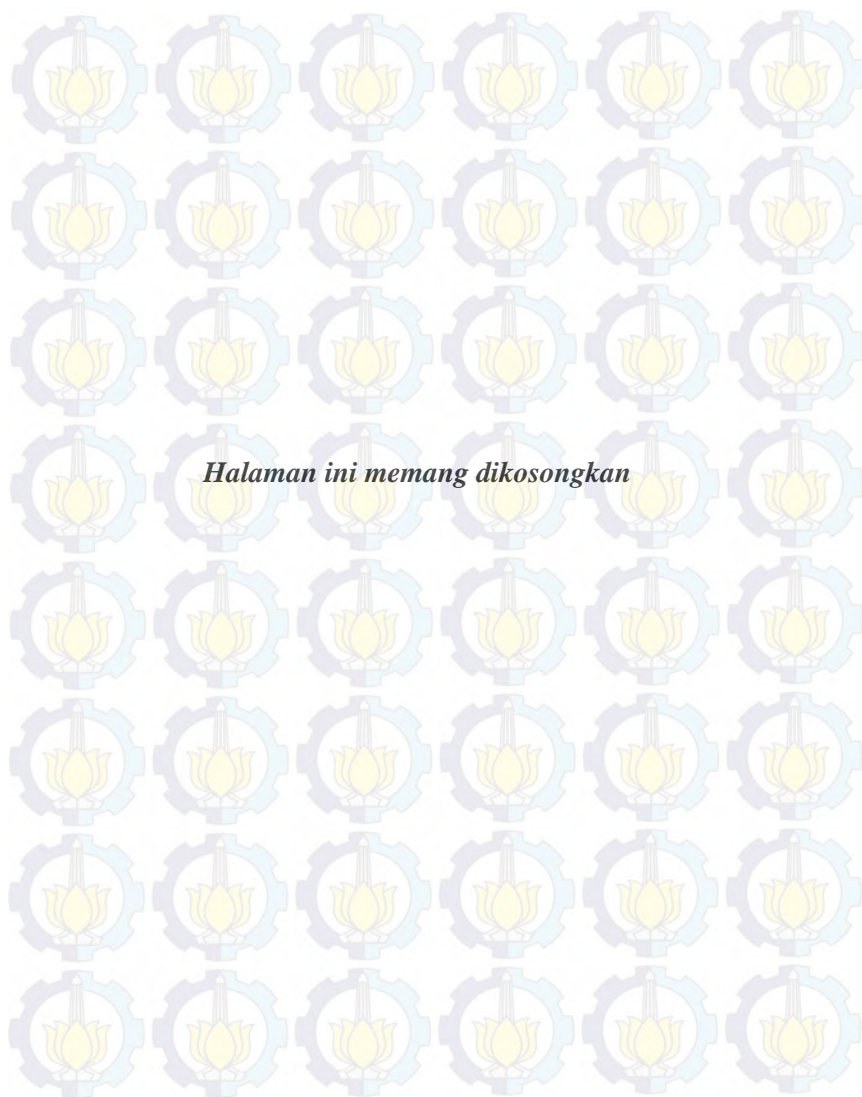
Simulasi selanjutnya dilakukan dengan cara tipe analisis transient. Perbedaan langkah saat simulasi transient dengan pada saat simulasi steady hanya pada pembentukan domain simulasi dan tipe analisis yang digunakan pada tahap preprocessing. Domain yang harus dibentuk yaitu subtract antara cylinder dengan blade dan shaft, tetapi pada domain box tidak disubtract dengan cylinder agar terbentuk dua domain, yaitu domain box dan cylinder domain. Berikut merupakan gambar saat terbentuk dua domain. Lalu pada tahapan preprocessing

Tahapan preprocessing pada tipe analisis transient harus menentukan total time dan time step yang digunakan pada simulasi agar kita dapat melihat hasil simulasi sesuai sudut azimuth yang diinginkan. Contohnya pada simulasi turbin tipe *V-Straight* perbesaran dimensi 4 kali saat kecepatan aliran 1 m/s. Turbin tersebut memiliki kecepatan sudut (RPM) sebesar 7.8574 rotasi per menit, lalu untuk mencari nilai waktu yang diperlukan turbin berotasi selama 1 putaran penuh (total time) adalah 11.6278 sekon dan waktu yang diperlukan turbin berputar sebesar  $30^0$  azimuth adalah 0.96899 sekon





**Gambar 3.13.** Tahapan *preprocessing* pada simulasi transient



## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Verifikasi Hasil Simulasi CFD

Verifikasi adalah salah satu cara yang dilakukan untuk menemukan hasil simulasi yang dianggap paling benar. Ada berbagai cara yang dapat dilakukan untuk verifikasi, contohnya seperti meshing grid, error torsi yang dibandingkan dengan hasil eksperimen, dan lain – lain. Namun berhubung pada penelitian ini tidak dilakukan eksperimen, maka cara yang dilakukan untuk verifikasi hasil simulasi adalah dengan verifikasi meshing berdasarkan penelitian sebelumnya.

Pada penelitian sebelumnya tentang *flapping wing* pada turbin arus sungai tipe *darrieus* oleh Susilo, dilakukan simulasi kembali penelitian tersebut sesuai dengan parameter aslinya seperti dimensi geometri turbin, jumlah blade, kecepatan aliran yang digunakan, kecepatan rotasi turbin dan lain – lainnya. Namun hanya ukuran spasi meshingnya saja yang dirubah sesuai dengan penelitian yang dilakukan saat ini. Ukuran spasi meshing yang digunakan merupakan hasil spasi meshing minimum yang dapat disimulasikan pada turbin *V-Blade* sesuai dengan kemampuan maksimum komputasi PC (*Personal Computer*). Berikut merupakan tabel hasil verifikasi simulasi yang dilakukan :

**Tabel 4.1** Hasil Verifikasi Simulasi V-Blade dengan Turbin Darrieus

Kecepatan	Penelitian sebelumnya ( <i>Darrieus</i> )		Tugas Akhir ini ( <i>V-Blade</i> )		Error
	Jumlah mesh	Torsi (N.m)	Jumlah mesh	Torsi (N.m)	
0,6 m/s	7786724	12,69	6748458	12,46	2 %
0,7 m/s	7786724	16,05	6748458	16,9	5 %
Error rata-rata					3,5 %



Pada awalnya langkah yang digunakan untuk mengurangi jumlah elemen mesh yaitu dengan memperbesar ukuran meshing pada bagian domain dan foil turbin, namun masih mendapatkan error yang sangat besar dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Maka dilakukan dengan cara mempertahankan ukuran spasi meshing pada foil dan shaft, tetapi hanya memperbesar ukuran spasi meshing pada bagian domain selain foil dan shaft. Hal itu mendapatkan hasil yang signifikan, dimana awalnya error yang didapatkan sangat besar, sekarang error yang diperoleh tidak melebihi 10% , bahkan error rata-rata yang didapatkan hanya sebesar 3.5% seperti yang terlihat pada tabel 4.1. Hal ini karena yang kita tinjau lebih spesifik pada daerah didekat foil dan shaft, dan nilai torsi yang digunakan sebagai acuan juga diperoleh dari nilai disekitar mesh foil dan shaft, bukan didaerah jauh dari foil dan shaft. Sehingga ukuran spasi meshing dan pendefinisian *boundary condition* yang dilakukan ini akan dijadikan acuan untuk melakukan simulasi selanjutnya pada variasi variabel yang lainnya.

#### **4.2. Data Hasil Simulasi CFD Pada Turbin V-Straight**

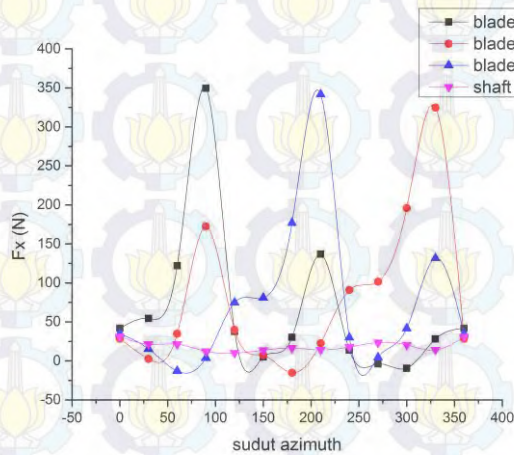
Berdasarkan hasil perhitungan analisis non-dimensional pada turbin tipe *V-Straight* ini didapatkan prediksi nilai rpm, dimana nilai rpm tersebut digunakan untuk input inisialisasi pada *preprocessing* simulasi CFD. Pada proses terakhir yaitu *postprocessing* didapatkan beberapa data simulasi CFD berupa fluktuasi gaya  $F_x$ ,  $F_y$ , torsi disetiap sudut azimuth selama satu putaran penuh, lalu fluktuasi torsi di setiap perubahan kecepatan, fluktuasi disetiap perubahan dimensi, profil aliran berupa kontur kecepatan dan kontur tekanan.

##### **4.2.1. Fluktuasi Gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi Pada Masing – Masing Blade dan Shaft**

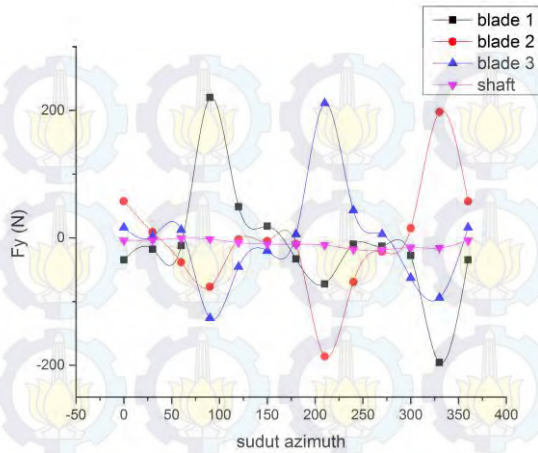
Pada simulasi tipe analisis transient dilakukan pengambilan data setiap sudut azimuth sesuai dengan data yang ingin ditinjau. Pengaturan tersebut dilakukan dengan cara menghitung terlebih dahulu total time dan time step pada simulasi ini. Total time step

merupakan waktu yang diperlukan turbin untuk melakukan satu putaran atau rotasi penuh, sedangkan time step adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan pergeseran rotasi secara angular sebesar sudut tetha yang ingin ditinjau. Besarnya nilai gaya yang didapatkan merupakan hasil resultan nilai gaya pada masing – masing blade dan shaft atau poros turbin. Besarnya nilai resultan ini diperoleh dari setiap time step atau setiap kondisi yang diinginkan.

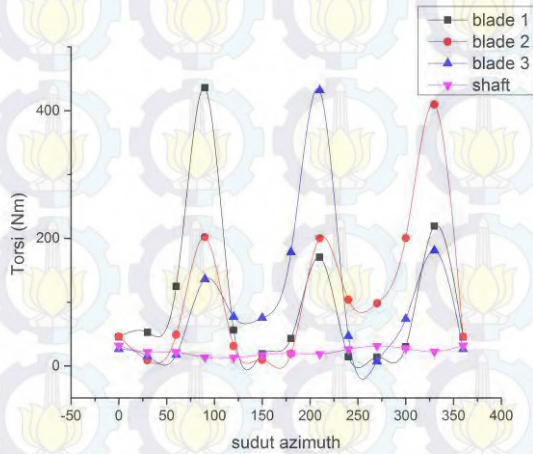
Pada penelitian ini time step yang ditinjau adalah time step setiap sudut azimuth  $30^0$ . Artinya setiap turbin berotasi secara angular sebesar  $30^0$  dilakukan pengambilan data berupa gaya pada masing – masing blade dan shaft, begitu juga dengan nilai torsi yang didapat. Secara garis besar grafik gaya dan torsi masing – masing blade dan shaft pada simulasi turbin arus laut dapat dilihat seperti gambar berikut.



(a)



(b)



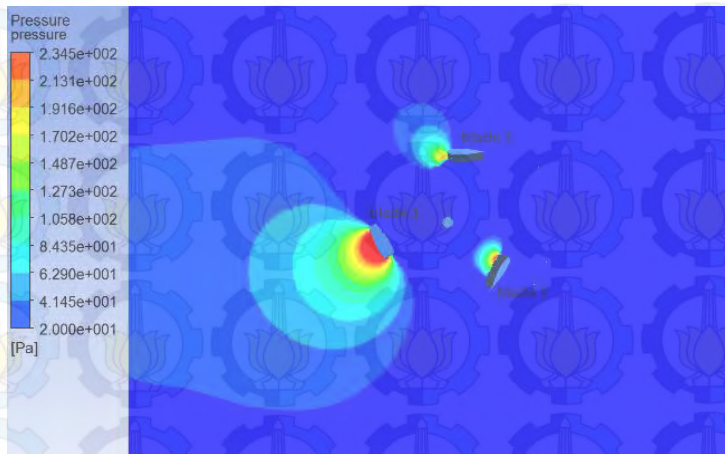
(c)

**Gambar 4.1** Gaya pada masing – masing blade dan shaft turbin V-Straight (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang diambil tiap blade dan shaft pada turbin tipe V-Straight saat kecepatan aliran 0.5m/s dimensi 1 dapat dilihat seperti pada gambar 4.1.



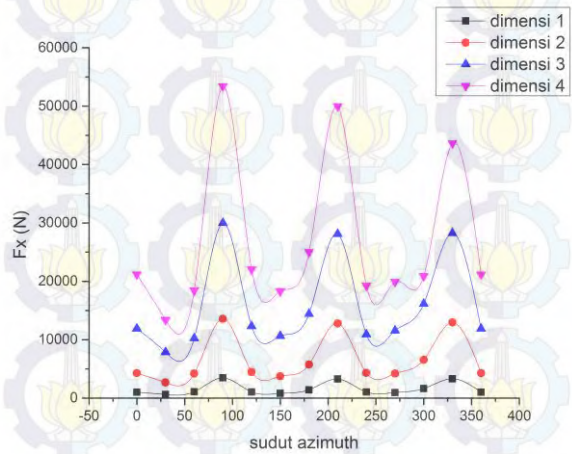
Pada saat sudut azimuth  $90^0$  nilai  $F_x$ ,  $F_y$  dan torsi pada blade 1 paling tinggi. Hal ini disebabkan pada sudut tersebut blade 1 mendapatkan kecepatan aliran yang paling tinggi dan belum terpengaruh oleh wake yang terjadi di aliran belakang blade. Untuk mengetahui visualiasi kontur tekanan pada setiap blade dan shaft dapat dilihat pada gambar 4.2. Terlihat pada gambar blade 1 yang terletak di aliran *upstream* mendapatkan kecepatan aliran tinggi sehingga tekanan pada blade 1 sangat tinggi dibandingkan dengan blade yang lainnya.



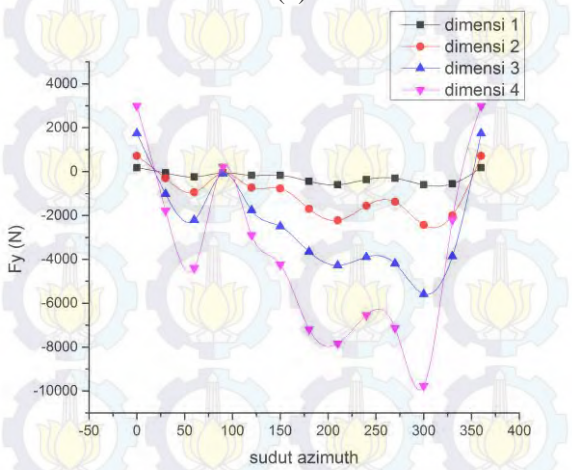
**Gambar 4.2** Kontur tekanan pada turbin *V-straight*



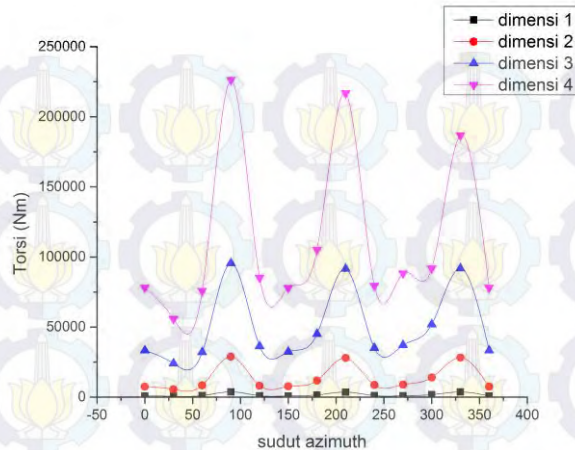
4.2.2. Fluktuasi Resultan Gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi Terhadap Sudut Azimuth Dengan Variasi Dimensi Turbin



(a)



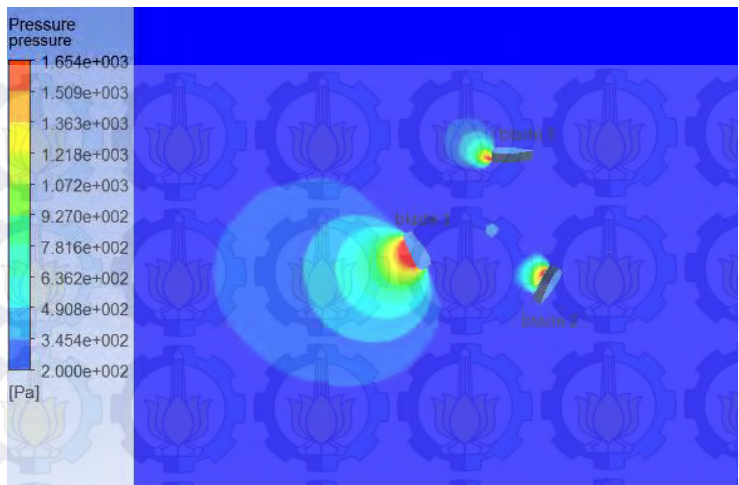
(b)



(c)

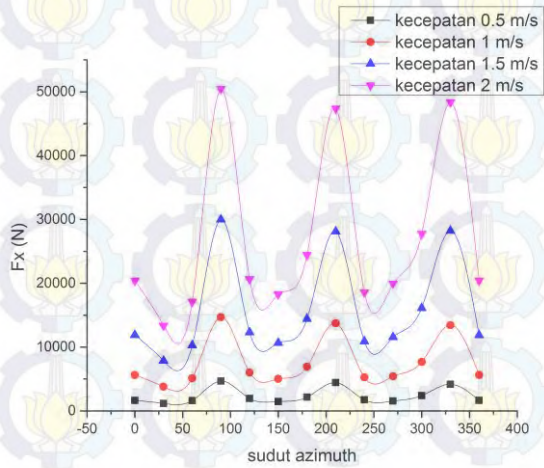
**Gambar 4. 3** Gaya tiap sudut azimuth variasi dimensi turbin *V-Straight* (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang diambil tiap sudut azimuth dan saat kecepatan aliran 1.5 m/s pada turbin *V-Straight* dapat dilihat seperti pada gambar 4.3. Nilai tersebut menunjukkan grafik yang berbentuk sinusoidal pada setiap variasi perbesaran dimensi. Pada saat sudut azimuth  $90^\circ$  nilai  $F_x$  dan torsi menunjukkan nilai yang paling tinggi. Hal ini disebabkan pada sudut azimuth tersebut ketiga blade mendapatkan tekanan yang cukup besar yaitu sebesar 1654 Pa seperti yang terlihat pada gambar 4.4. Blade 1 mendapatkan tekanan yang cukup besar kearah atas (sumbu y positif), namun pada blade 2 dan blade 3 mendapatkan tekanan yang cenderung kearah bawah (sumbu y negatif), sehingga nilai gaya kearah sumbu y akan saling meniadakan dan inilah yang membuat nilai gaya  $F_y$  sama dengan nol.

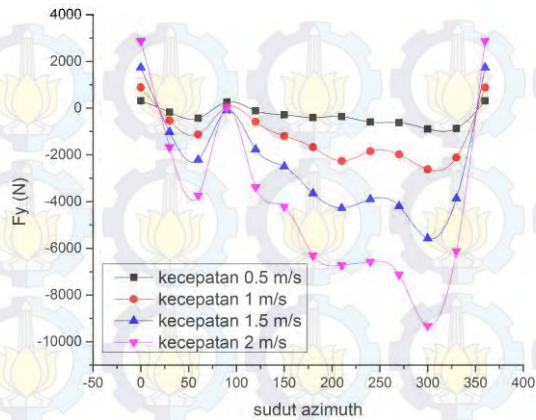


Gambar 4.4 Kontur tekanan pada sudut azimuth 90<sup>0</sup>

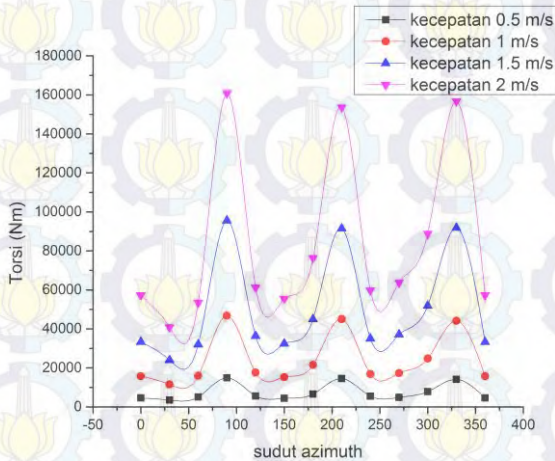
4.2.3. Fluktuasi Resultan Gaya Fx, Fy dan Torsi Terhadap Sudut Azimuth Dengan Variasi Kecepatan Aliran



(a)



(b)



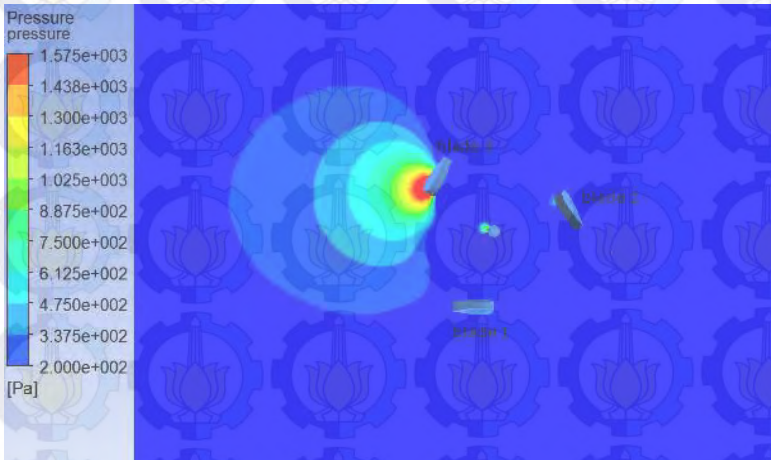
(c)

**Gambar 4.5** Gaya tiap sudut azimuth variasi kecepatan turbin V-Straight (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang diambil tiap sudut azimuth dan saat perbesaran dimensi 3 kali pada turbin V-Straight dapat dilihat seperti pada gambar 4.5.

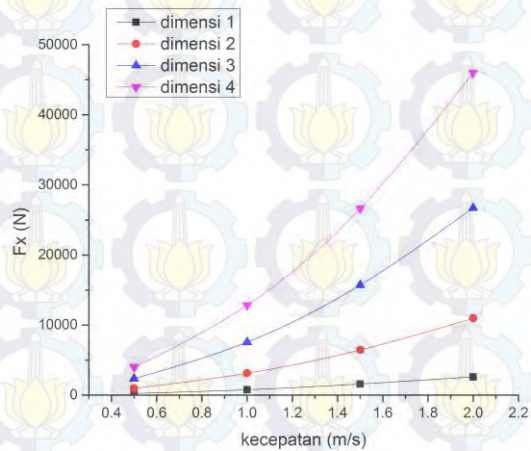


Nilai tersebut menunjukkan grafik yang berbentuk sinusoidal pada setiap variasi perbesaran dimensi. Pada saat sudut azimuth  $150^\circ$  nilai  $F_x$  dan torsi menunjukkan nilai yang rendah. Seperti yang terlihat pada gambar 4.6, hanya blade 3 saja yang mendapatkan tekanan dari fluida sebesar 1575 Pa, sedangkan untuk blade 1 dan blade 2 hampir tidak mendapatkan tekanan sama sekali. Fenomena tersebutlah yang membuat nilai gaya dan torsi turbin sangat rendah.

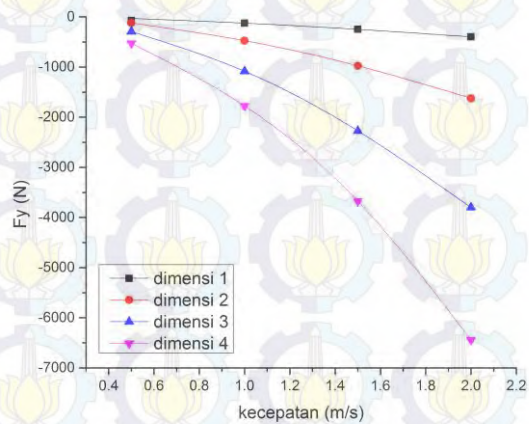


**Gambar 4.6** Kontur tekanan pada sudut azimuth  $150^\circ$

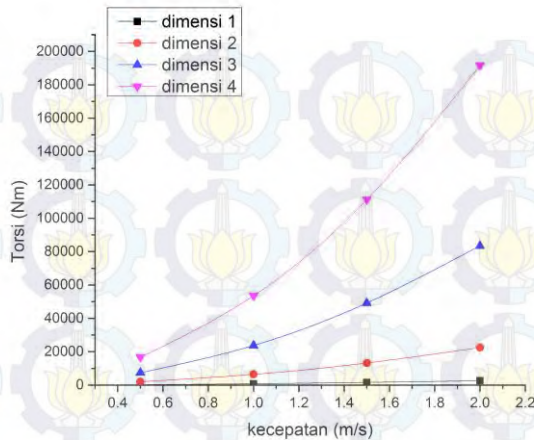
#### 4.2.4. Resultan Gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi Terhadap Kecepatan Aliran Dengan Variasi Dimensi Turbin



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 7** Gaya tiap kecepatan dengan variasi dimensi turbin V-Straight (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang diambil pada turbin tipe V-Straight saat kecepatan aliran dinaikkan bertahap setiap 0.5 m/s dan dengan variasi dimensi turbin dapat digambarkan seperti pada gambar 4.7. Terjadi peningkatan nilai  $F_x$  dan Torsi saat terjadi kenaikan kecepatan aliran mulai dari 0.5 m/s sampai 2 m/s di berbagai variasi dimensi. Begitu juga nilai  $F_y$  terjadi peningkatan meskipun dalam arah sumbu y negatif.

Berikut merupakan tabel gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang dapat menjelaskan grafik diatas.

**Tabel 4.2** Nilai gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi tiap peningkatan kecepatan aliran dengan variasi perubahan dimensi

$F_x$	Dimensi 1	Dimensi 2	Dimensi 3	Dimensi 4
0.5 m/s	237.5688	965.4829	2355.682	4007.831
1 m/s	768.7435	3108.025	7567.56	12840.62
1.5 m/s	1586.761	6443.958	15707.95	26664.19
2 m/s	2601.544	10954.28	26713.91	45989.19



<b>Fy</b>	<b>Dimensi 1</b>	<b>Dimensi 2</b>	<b>Dimensi 3</b>	<b>Dimensi 4</b>
0.5 m/s	-30.2374	-120.213	-294.192	-527.645
1 m/s	-124.86	-473.848	-1084.98	-1776.26
1.5 m/s	-248.797	-974.206	-2274.2	-3675.12
2 m/s	-397.238	-1622.03	-3801.15	-6440.94
<b>Torsi</b>	<b>Dimensi 1</b>	<b>Dimensi 2</b>	<b>Dimensi 3</b>	<b>Dimensi 4</b>
0.5 m/s	245.0015	2003.405	7403.108	16753.58
1 m/s	790.3631	6426.274	23727.24	53601.45
1.5 m/s	1628.18	13278.9	49194.76	111208.4
2 m/s	2664.369	22527.99	83536.94	191626.8

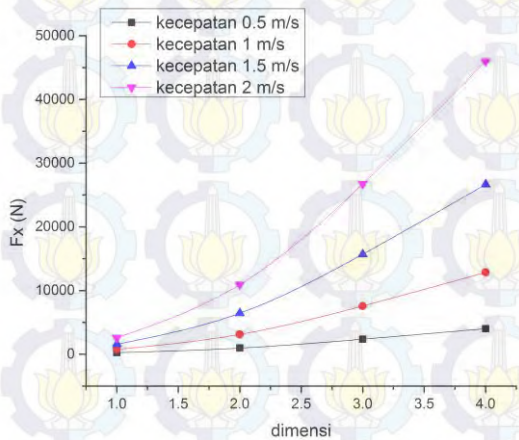
Dari grafik didapatkan hubungan antara kecepatan dengan nilai  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang sebanding namun tidak linier melainkan berupa kurva kuadratik (pangkat dua). Hal ini didapatkan dari mencari persamaan garis grafik tersebut dengan metode trending pada Microsoft Excel. Hasil trending persamaan garis dapat dilihat pada tabel 4.2. Berdasarkan teoritis penurunan rumus torsi  $T = \frac{1}{2} \rho A R V^2$ , gaya  $F_x$  dan  $F_y$   $F = \frac{1}{2} \rho A V^2$ , didapatkan hubungan yang sama juga yaitu nilai  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi sebanding dengan  $V^2$ ,  $(F_x, F_y, T) \sim V^2$ .

**Tabel 4.3** Persamaan garis  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi

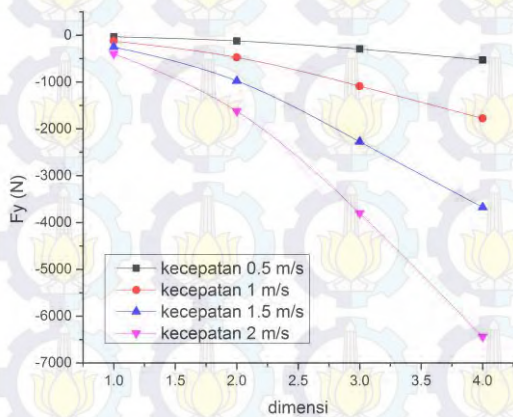
<b><math>F_x</math></b>	<b><math>F_y</math></b>	<b>Torsi</b>
$y = 10492x^2 + 1723x + 548.81$ $R^2 = 1$ , (dimensi 4)	$y = -1517.2x^2 - 134.73x - 91.815$ $R^2 = 1$ , (dimensi 4)	$y = 43570x^2 + 7519.2x + 2204$ $R^2 = 1$ , (dimensi 4)
$y = 5794.1x^2 + 1757.8x + 25.103$ $R^2 = 1$ , (dimensi 3)	$y = -736.17x^2 - 501.59x + 143.68$ $R^2 = 1$ , (dimensi 3)	$y = 18018x^2 + 5728.7x + 20.823$ $R^2 = 1$ , (dimensi 3)
$y = 2367.8x^2 + 741.01x + 2.0837$ $R^2 = 1$ , (dimensi 2)	$y = -294.19x^2 - 265.68x + 86.14$ $R^2 = 1$ , (dimensi 2)	$y = 4826.2x^2 + 1619.7x - 14.679$ $R^2 = 1$ , (dimensi 2)
$y = 483.61x^2 + 372.97x - 74.321$ $R^2 = 1$ , (dimensi 1)	$y = -53.818x^2 - 110.44x + 38.679$ $R^2 = 1$ , (dimensi 1)	$y = 490.83x^2 + 392.11x - 78.467$ $R^2 = 1$ , (dimensi 1)



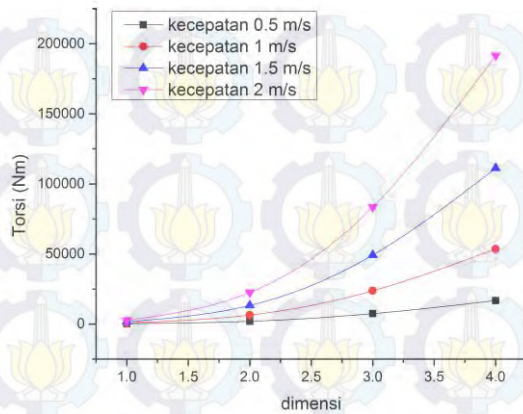
4.2.5. Resultan Gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi Terhadap Dimensi Turbin Dengan Variasi Kecepatan Aliran



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 8** Gaya tiap dimensi dengan variasi kecepatan turbin V-Straight (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi diambil pada turbin tipe V-Straight saat dimensi turbin dibesarkan bertahap setiap kelipatan ukuran dimensi total turbin (1x, 2x, 3x, 4x). Lalu dengan 4 variasi kecepatan aliran fluida, nilai  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi dapat digambarkan seperti pada gambar 4.8. Terjadi peningkatan nilai  $F_x$  dan Torsi saat terjadi perbesaran dimensi turbin mulai dari dimensi 1x, 2x, 3x dan 4x di berbagai variasi kecepatan aliran fluida. Begitu juga nilai  $F_y$  terjadi peningkatan meskipun dalam arah sumbu y negatif.

Berikut merupakan tabel gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang dapat menjelaskan grafik diatas.

**Tabel 4.4** Nilai gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi tiap peningkatan perubahan dimensi dengan variasi kecepatan aliran

$F_x$	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s
Dimensi 1	237.5688	768.7435	1586.761	2601.544
Dimensi 2	965.4829	3108.025	6443.958	10954.28
Dimensi 3	2355.682	7567.56	15707.95	26713.91
Dimensi 4	4007.831	12840.62	26664.19	45989.19

<b>Fy</b>	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s
Dimensi 1	-30.2374	-124.86	-248.797	-397.238
Dimensi 2	-120.213	-473.848	-974.206	-1622.03
Dimensi 3	-294.192	-1084.98	-2274.2	-3801.15
Dimensi 4	-527.645	-1776.26	-3675.12	-6440.94
<b>Torsi</b>	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s
Dimensi 1	245.0015	790.3631	1628.18	2664.369
Dimensi 2	2003.405	6426.274	13278.9	22527.99
Dimensi 3	7403.108	23727.24	49194.76	83536.94
Dimensi 4	16753.58	53601.45	111208.4	191626.8

Dari grafik didapatkan hubungan yang sebanding antara perbesaran dimensi dengan nilai  $F_x$  dan  $F_y$  berupa kurva kuadratik, sedangkan hubungan antara perbesaran dimensi dengan nilai torsi berupa kurva pangkat tiga. Hal ini didapatkan dengan mencari persamaan garis grafik tersebut melalui metode trending pada Microsoft Excel. Hasil trending persamaan garis dapat dilihat pada tabel 4.3. Selanjutnya berdasarkan teoritis penurunan rumus torsi  $T = \frac{1}{2}\rho ARV^2$ , gaya  $F_x$  dan  $F_y$   $F = \frac{1}{2}\rho AV^2$ , didapatkan hubungan yaitu nilai  $F_x$ ,  $F_y$  yang sebanding dengan  $A(\text{Dimensi}^2)$ ,  $(F_x, F_y, T) \sim \text{Dimensi}^2$  dan nilai torsi yang sebanding dengan  $AR(\text{Dimensi}^2 \cdot \text{Dimensi} = \text{Dimensi}^3)$ ,  $Torsi \sim \text{Dimensi}^3$ .

**Tabel 4.5** Persamaan garis  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi

<b>Fx</b>	<b>Fy</b>	<b>Torsi</b>
$y = 2730.6x^2 + 939.07x - 1262.7$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 2 m/s)	$y = -353.75x^2 - 262.29x + 243.48$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 2 m/s)	$y = 989.25x^3 + 14637x^2 - 30973x + 18011$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 2 m/s)
$y = 1524.8x^2 + 825.83x - 899.56$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1.5 m/s)	$y = -168.88x^2 - 313.51x + 257.27$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1.5 m/s)	$y = 305.45x^3 + 10300x^2 - 21387x + 12410$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1.5 m/s)



$y = 733.45x^2 + 400.29x - 430.33$ $R^2 = 1, (\text{kecepatan } 1 \text{ m/s})$	$y = -85.572x^2 - 128.67x + 98.483$ $R^2 = 1, (\text{kecepatan } 1 \text{ m/s})$	$y = 151.37x^3 + 4924.3x^2 - 10197x + 5911.3$ $R^2 = 1, (\text{kecepatan } 1 \text{ m/s})$
$y = 231.06x^2 + 114.8x - 128.31$ $R^2 = 1, (\text{kecepatan } 0.5 \text{ m/s})$	$y = -35.869x^2 + 12.726x - 5.8678$ $R^2 = 1, (\text{kecepatan } 0.5 \text{ m/s})$	$y = 51.579x^3 + 1511.2x^2 - 3136.2x + 1818.4$ $R^2 = 1, (\text{kecepatan } 0.5 \text{ m/s})$

### 4.3. Data Hasil Simulasi CFD Pada Turbin V-Helical

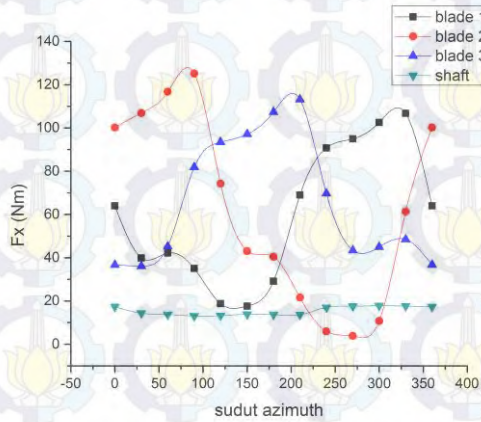
Berdasarkan hasil perhitungan analisis non-dimensional pada turbin tipe *V-Helical* ini didapatkan prediksi nilai rpm, dimana nilai rpm tersebut digunakan untuk input inisialisasi pada *preprocessing* simulasi CFD. Pada proses terakhir yaitu *postprocessing* didapatkan beberapa data simulasi CFD berupa fluktuasi gaya  $F_x$ ,  $F_y$ , torsi di setiap sudut azimuth selama satu putaran penuh, lalu fluktuasi torsi di setiap perubahan kecepatan, fluktuasi di setiap perubahan dimensi, profil aliran berupa kontur kecepatan dan kontur tekanan.

#### 4.3.1. Fluktuasi Gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi Pada Masing – Masing Blade dan Shaft

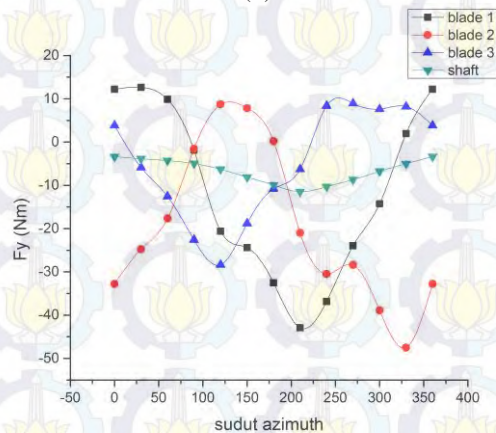
Pada simulasi tipe analisis transient dilakukan pengambilan data setiap sudut azimuth sesuai dengan data yang ingin ditinjau. Pengaturan tersebut dilakukan dengan cara menghitung terlebih dahulu total time dan time step pada simulasi ini. Total time step merupakan waktu yang diperlukan turbin untuk melakukan satu putaran atau rotasi penuh, sedangkan time step adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan pergeseran rotasi secara angular sebesar sudut theta yang ingin ditinjau. Besarnya nilai gaya yang didapatkan merupakan hasil resultan nilai gaya pada masing – masing blade dan shaft atau poros turbin. Besarnya nilai resultan ini diperoleh dari setiap time step atau setiap kondisi yang diinginkan. Pada penelitian ini time step yang ditinjau adalah time step setiap sudut azimuth  $30^\circ$ . Artinya setiap turbin berotasi secara angular sebesar  $30^\circ$  dilakukan pengambilan data berupa gaya pada



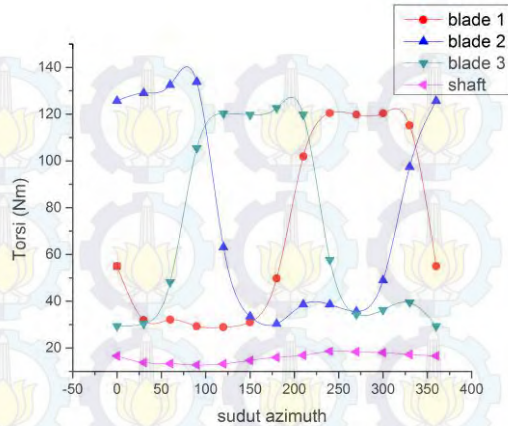
masing – masing blade dan shaft, begitu juga dengan nilai torsi yang didapat. Secara garis besar grafik gaya dan torsi masing – masing blade dan shaft pada simulasi turbin arus laut dapat dilihat seperti gambar berikut.



(a)



(b)

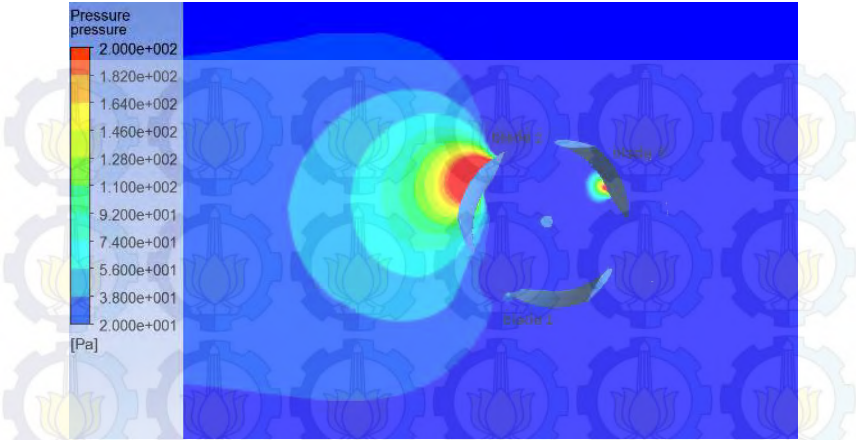


(c)

**Gambar 4.9** Gaya pada masing – masing blade dan shaft turbin *V-Helical* (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

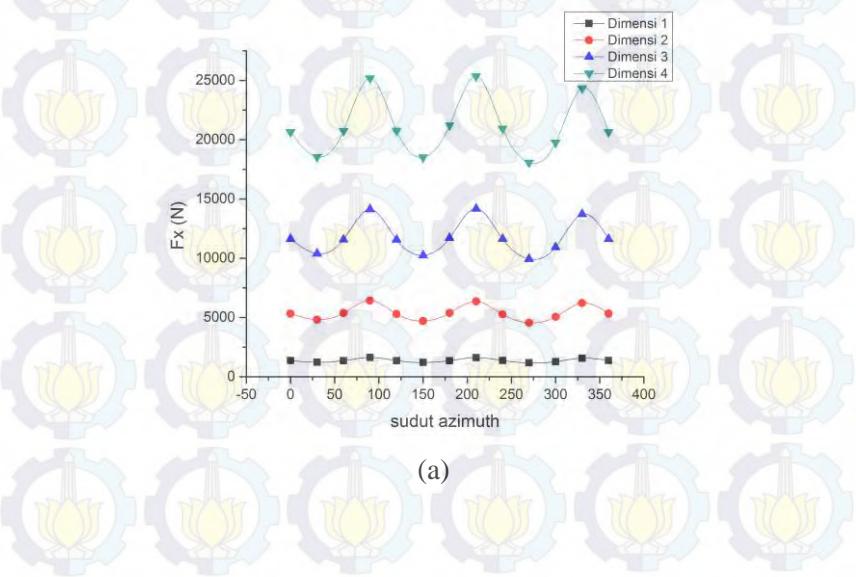
Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang diambil tiap blade dan shaft pada turbin tipe *V-Helical* saat kecepatan aliran 0.5 m/s dimensi 1 dapat dilihat seperti pada gambar 4.9.

Pada saat sudut azimuth  $90^\circ$  nilai  $F_x$ ,  $F_y$  dan torsi pada blade 2 paling tinggi. Hal ini disebabkan pada sudut azimuth tersebut di sepanjang blade 2 mendapatkan kecepatan aliran yang paling tinggi dan belum terpengaruh oleh wake yang terjadi di aliran belakang blade. Untuk mengetahui visualiasi kontur tekanan pada setiap blade dan shaft dapat dilihat pada gambar 4.10. Terlihat pada gambar blade 2 yang terletak di aliran *upstream* mendapatkan kecepatan aliran tinggi sehingga tekanan pada blade 2 sangat tinggi dibandingkan dengan blade yang lainnya.



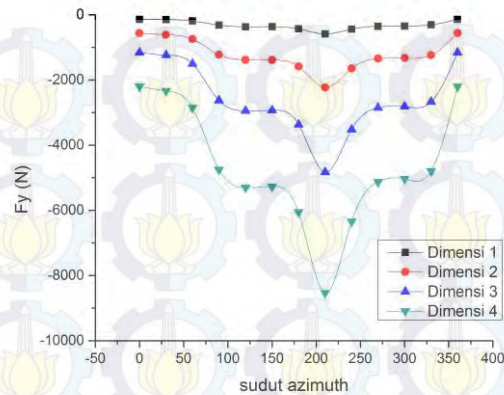
Gambar 4.10 Kontur tekanan pada turbin *V-Helical*

4.3.2. Fluktuasi Resultan Gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi Terhadap Sudut Azimuth Dengan Variasi Dimensi Turbin

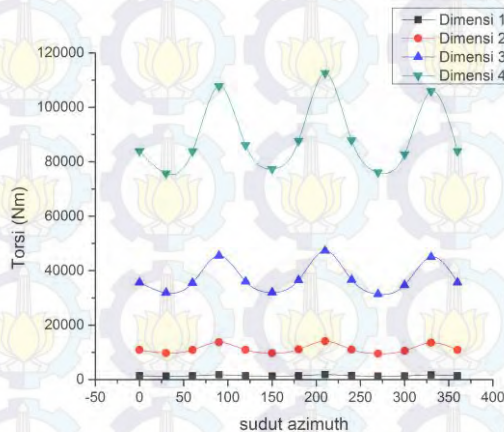


(a)





(b)

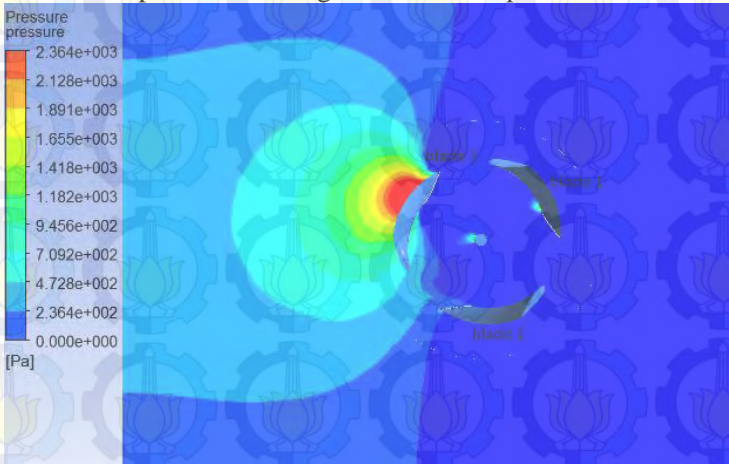


(c)

**Gambar 4. 11** Gaya tiap sudut azimuth variasi dimensi turbin V-Helical (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

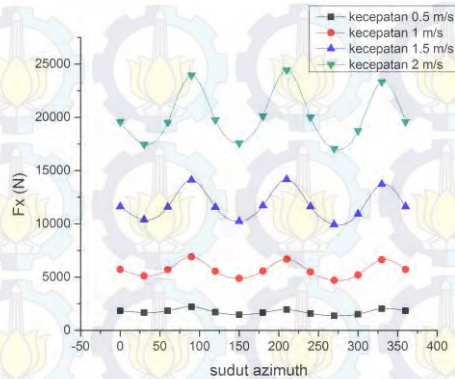
Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang diambil tiap sudut azimuth dan saat kecepatan aliran 2 m/s pada turbin tipe V-Helical dapat dilihat seperti pada gambar 4.11. Nilai tersebut menunjukkan grafik yang berbentuk sinusoidal pada setiap variasi perbesaran

dimensi. Pada saat azimuth  $210^0$  nilai  $F_x$  dan torsi menunjukkan nilai yang paling tinggi, begitu juga  $F_y$  meskipun dalam arah sumbu  $y$  negatif. Dapat dilihat kontur tekanan pada gambar 4.12, bahwa tekanan pada turbin sangat besar mencapai 2364 Pa.

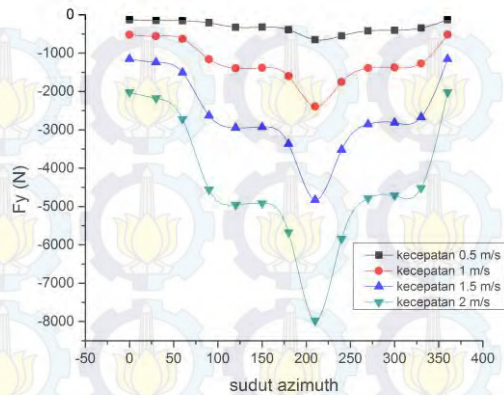


Gambar 4.12 Kontur tekanan pada sudut azimuth  $210^0$

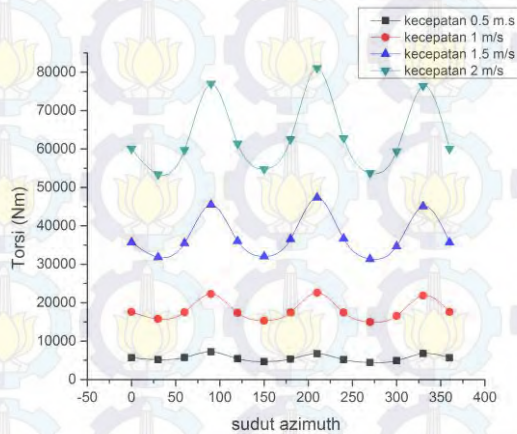
#### 4.3.3. Fluktuasi Resultan Gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi Terhadap Sudut Azimuth Dengan Variasi Kecepatan Aliran



(a)



(b)



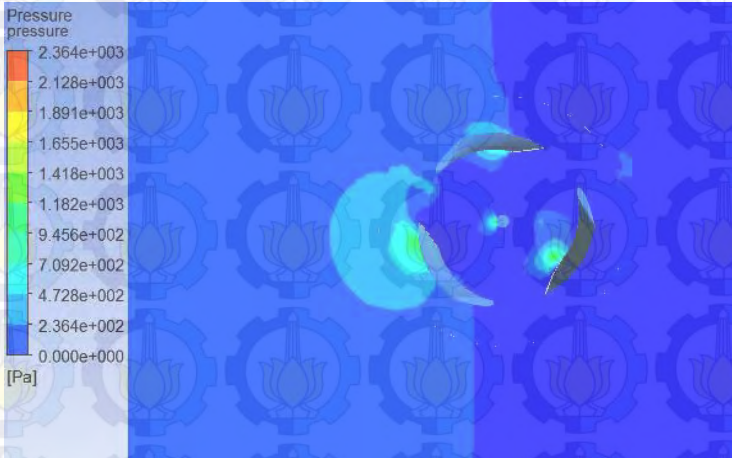
(c)

**Gambar 4. 13** Gaya tiap sudut azimuth variasi kecepatan turbin V-Helical (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang diambil tiap sudut azimuth dan saat kecepatan aliran 2 m/s pada turbin tipe V-Helical dapat dilihat seperti pada gambar 4.13. Nilai tersebut menunjukkan grafik yang berbentuk sinusoidal pada setiap variasi perbesaran

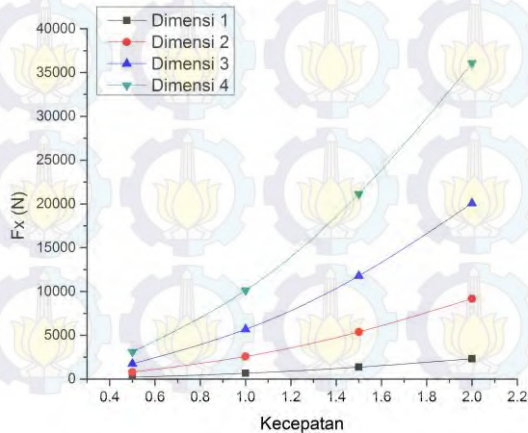


dimensi. Pada saat azimuth  $30^0$  nilai  $F_x$  dan torsi menunjukkan nilai yang paling rendah, begitu juga  $F_y$  meskipun dalam arah sumbu y negatif. Dapat dilihat kontur tekanan pada gambar 4.14, bahwa tekanan pada turbin sangat rendah hanya mencapai sekitar 945.6 Pa.

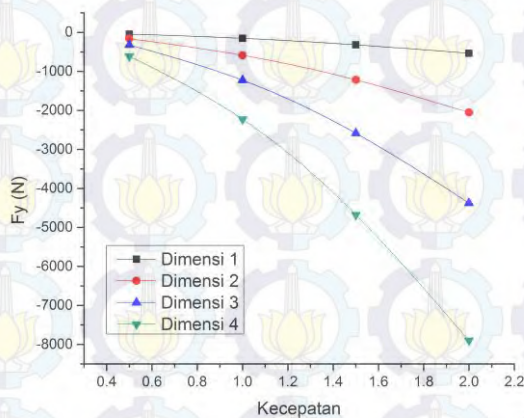


**Gambar 4.14** Kontur tekanan pada sudut azimuth  $30^0$

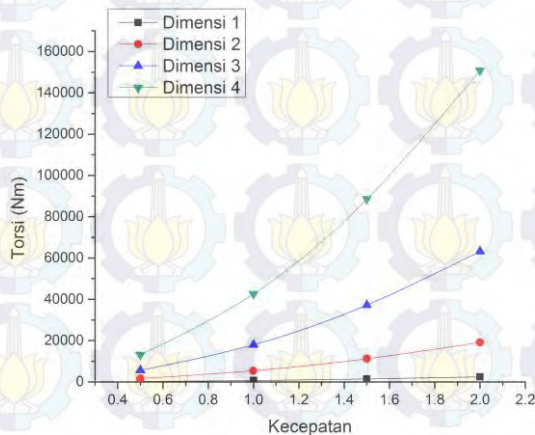
#### 4.3.4. Resultan Gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi Terhadap Kecepatan Aliran Dengan Variasi Dimensi Turbin



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 15** Gaya tiap kecepatan dengan variasi dimensi turbin *V-Helical* (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang diambil pada turbin tipe V-Helical saat kecepatan aliran dinaikkan bertahap setiap 0.5 m/s dan dengan variasi dimensi turbin dapat digambarkan seperti pada gambar 4.15 diatas. Terjadi peningkatan nilai  $F_x$  dan Torsi saat terjadi kenaikan kecepatan aliran mulai dari 0.5 m/s sampai 2 m/s di berbagai variasi dimensi. Begitu juga nilai  $F_y$  terjadi peningkatan meskipun dalam arah sumbu  $y$  negatif.

Berikut merupakan tabel gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang dapat menjelaskan grafik diatas.

**Tabel 4.6** Nilai gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi tiap peningkatan kecepatan aliran dengan variasi perubahan dimensi

<b><math>F_x</math></b>	dimensi 1	dimensi 2	dimensi 3	dimensi 4
0.5 m/s	203.0372	792.1735	1744.237	3093.15
1 m/s	661.375	2589.715	5676.302	10128.58
1.5 m/s	1369.755	5389.168	11786.3	21126.06
2 m/s	2327.907	9187.037	20083.08	36065.66
<b><math>F_y</math></b>	dimensi 1	dimensi 2	dimensi 3	dimensi 4
0.5 m/s	-42.9387	-161.559	-321.354	-607.721
1 m/s	-152.45	-585.464	-1225.98	-2227.02
1.5 m/s	-318.031	-1219.11	-2585.06	-4675.89
2 m/s	-535.293	-2051.33	-4374.22	-7901.93
<b>Torsi</b>	dimensi 1	dimensi 2	dimensi 3	dimensi 4
0.5 m/s	217.6256	1679.569	5606.199	13128
1 m/s	698.2007	5434.175	18023.87	42645.13
1.5 m/s	1438.811	11257.45	37229.35	88584.51
2 m/s	2438.424	19141.7	63250.99	150810.9

Dari grafik didapatkan hubungan antara kecepatan dengan nilai  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang sebanding namun tidak linier melainkan berupa kurva kuadratik (pangkat dua). Hal ini didapatkan dari mencari persamaan garis grafik tersebut dengan metode trending pada Microsoft Excel. Hasil trending persamaan

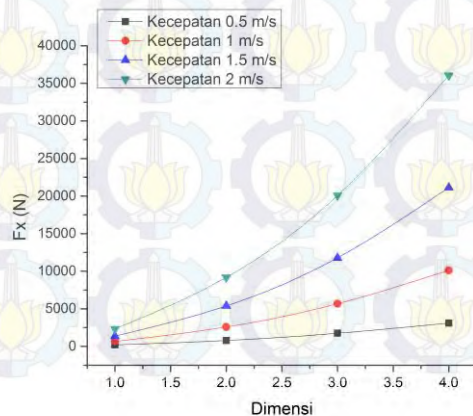


garis dapat dilihat pada tabel 4.4. Berdasarkan teoritis penurunan rumus torsi  $T = \frac{1}{2} \rho A R V^2$ , gaya  $F_x$  dan  $F_y$   $F = \frac{1}{2} \rho A V^2$ , didapatkan hubungan yang sama juga yaitu nilai  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi sebanding dengan  $V^2$ ,  $(F_x, F_y, T) \sim V^2$

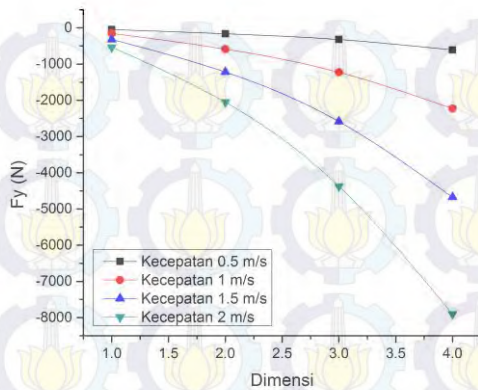
**Tabel 4.7** Persamaan Garis  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi

$F_x$	$F_y$	Torsi
$y = 7904.2x^2 + 2222.6x + 4.8305$ $R^2 = 1$ , (dimensi 4)	$y = -1606.7x^2 - 849.46x + 221.31$ $R^2 = 1$ , (dimensi 4)	$y = 32709x^2 + 10024x - 68.286$ $R^2 = 1$ , (dimensi 4)
$y = 4364.7x^2 + 1313.5x - 3.2654$ $R^2 = 1$ , (dimensi 3)	$y = -884.54x^2 - 492.18x + 147.09$ $R^2 = 1$ , (dimensi 3)	$y = 13604x^2 + 4418x - 2.392$ $R^2 = 1$ , (dimensi 3)
$y = 2000.3x^2 + 595.99x - 6.0783$ $R^2 = 1$ , (dimensi 2)	$y = -408.32x^2 - 239.79x + 60.975$ $R^2 = 1$ , (dimensi 2)	$y = 4129.6x^2 + 1317.8x - 12.135$ $R^2 = 1$ , (dimensi 2)
$y = 499.81x^2 + 167.06x - 5.4613$ $R^2 = 1$ , (dimensi 1)	$y = -107.75x^2 - 59.151x + 13.794$ $R^2 = 1$ , (dimensi 1)	$y = 519.04x^2 + 183.01x - 3.6885$ $R^2 = 1$ , (dimensi 1)

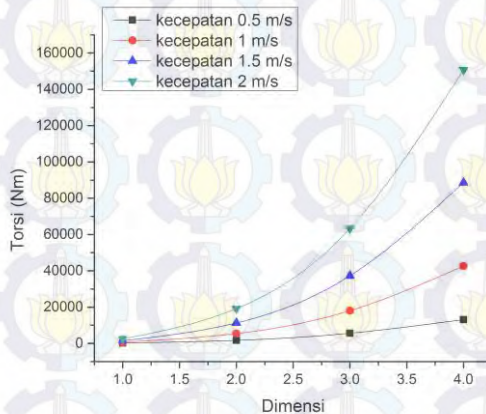
#### 4.3.5. Resultan Gaya $F_x$ , $F_y$ dan Torsi Terhadap Dimensi Turbin Dengan Variasi Kecepatan Aliran



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 16** Gaya tiap dimensi dengan variasi kecepatan turbin *V-Helical* (a) Gaya arah sumbu x ( $F_x$ ) (b) Gaya arah sumbu y ( $F_y$ ) (c) Torsi

Nilai resultan gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi diambil pada turbin tipe *V-Helical* saat dimensi turbin dibesarkan bertahap setiap kelipatan ukuran dimensi total turbin (1x,2x,3x,4x). Lalu dengan 4 variasi kecepatan aliran fluida, nilai  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi dapat digambarkan

seperti pada gambar 4.16 diatas. Terjadi peningkatan nilai  $F_x$  dan Torsi saat terjadi perbesaran dimensi turbin mulai dari dimensi 1x, 2x, 3x dan 4x di berbagai variasi kecepatan aliran fluida. Begitu juga nilai  $F_y$  terjadi peningkatan meskipun dalam arah sumbu  $y$  negatif.

Berikut merupakan tabel gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi yang dapat menjelaskan grafik diatas.

**Tabel 4.8** Nilai gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi tiap peningkatan perubahan dimensi dengan variasi kecepatan aliran

<b><math>F_x</math></b>	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s
Dimensi 1	203.0372	661.375	1369.755	2327.907
Dimensi 2	792.1735	2589.715	5389.168	9187.037
Dimensi 3	1744.237	5676.302	11786.3	20083.08
Dimensi 4	3093.15	10128.58	21126.06	36065.66
<b><math>F_y</math></b>	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s
Dimensi 1	-42.9387	-152.45	-318.031	-535.293
Dimensi 2	-161.559	-585.464	-1219.11	-2051.33
Dimensi 3	-321.354	-1225.98	-2585.06	-4374.22
Dimensi 4	-607.721	-2227.02	-4675.89	-7901.93
<b>Torsi</b>	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s
Dimensi 1	217.6256	698.2007	1438.811	2438.424
Dimensi 2	1679.569	5434.175	11257.45	19141.7
Dimensi 3	5606.199	18023.87	37229.35	63250.99
Dimensi 4	13128	42645.13	88584.51	150810.9

Dari grafik didapatkan hubungan yang sebanding antara perbesaran dimensi dengan nilai  $F_x$  dan  $F_y$  berupa kurva kuadratik, sedangkan hubungan antara perbesaran dimensi dengan nilai torsi berupa kurva pangkat tiga. Hal ini didapatkan dengan mencari persamaan garis grafik tersebut melalui metode trending pada Microsoft Excel. Hasil trending persamaan garis dapat dilihat pada tabel 4.5. Selanjutnya berdasarkan teoritis penurunan rumus torsi



$T = \frac{1}{2}\rho ARV^2$ , gaya  $F_x$  dan  $F_y$   $F = \frac{1}{2}\rho AV^2$ , didapatkan hubungan yaitu nilai  $F_x$ ,  $F_y$  yang sebanding dengan  $A(\text{Dimensi}^2)$ ,  $(F_x, F_y, T) \sim \text{Dimensi}^2$  dan nilai torsi yang sebanding dengan  $AR(\text{Dimensi}^2 \cdot \text{Dimensi} = \text{Dimensi}^3)$ ,  $\text{Torsi} \sim \text{Dimensi}^3$ .

**Tabel 4.9** Persamaan Garis  $F_x$ ,  $F_y$  dan Torsi

<b><math>F_x</math></b>	<b><math>F_y</math></b>	<b>Torsi</b>
$y = 2280.9x^2 - 193.39x + 292.91$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 2 m/s)	$y = -502.92x^2 + 72.301x - 124.58$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 2 m/s)	$y = 2674.1x^3 - 2341.6x^2 + 5009.4x - 2903.5$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 2 m/s)
$y = 1330.1x^2 - 83.818x + 151.73$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1.5 m/s)	$y = -297.44x^2 + 43.247x - 76.839$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1.5 m/s)	$y = 1538.3x^3 - 1153.4x^2 + 2510.4x - 1456.6$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1.5 m/s)
$y = 630.98x^2 - 6.1018x + 46.865$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1 m/s)	$y = -142.01x^2 + 23.612x - 41.706$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1 m/s)	$y = 696.31x^3 - 250.98x^2 + 614.76x - 361.89$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1 m/s)
$y = 189.94x^2 + 12.519x + 2.2699$ $R^2 = 1$ (kecepatan 0.5 m/s)	$y = -41.937x^2 + 24.27x - 29.542$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 0.5 m/s)	$y = 188.41x^3 + 101.86x^2 - 162.54x + 89.887$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 0.5 m/s)

#### 4.4. Pembahasan

Pada penelitian ini terdapat 32 variasi , yaitu 4 variasi perbesaran dimensi, 4 variasi kecepatan aliran dan 2 variasi jenis blade. Pada simulasi CFD dilakukan pengambilan data berupa gaya arah sumbu x  $F_x$ , gaya arah sumbu y  $F_y$ , torsi dan daya yang dihasilkan pada berbagai macam variasi tersebut.

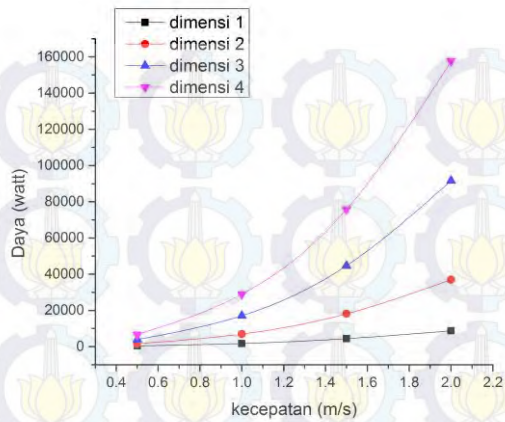
##### 4.4.1. Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Terhadap Performansi Turbin Dengan Variasi Perbesaran Dimensi

Pada peningkatan kecepatan aliran fluida secara bertahap sebesar 0.5 m/s dari kecepatan awal 0.5 m/s hingga 2 m/s dapat diamati pengaruhnya terhadap performansi turbin, seperti kecepatan sudut (RPM) turbin, fluktuasi gaya  $F_x$ ,  $F_y$ , torsi dan daya. Peningkatan kecepatan aliran fluida akan membuat kecepatan sudut (RPM) turbin juga meningkat, hal ini berdasarkan penurunan analisis non-dimensional yang sudah dilakukan. Saat dimensi turbin dibuat tetap namun kecepatan aliran dinaikkan dua kali maka akan membuat kecepatan sudut meningkat dua kali juga. Hal yang sama akan berlaku juga saat kecepatan dinaikkan sesuai dengan variasi dari kecepatan 0.5 m/s hingga 2 m/s.

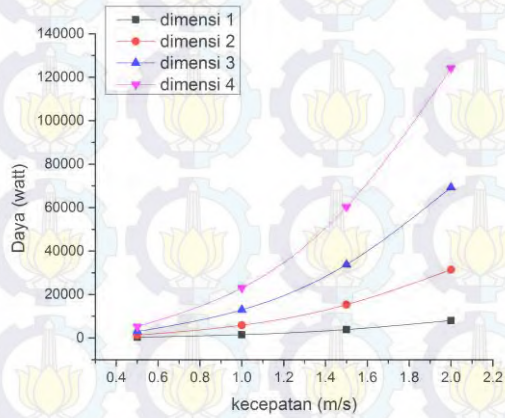
$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right) \left(\frac{D_1}{D_2}\right)$$

Berdasarkan gambar 4.17 dapat dilihat hubungan yang sebanding antara kecepatan aliran fluida terhadap daya keluaran yang dihasilkan turbin. Hubungan yang didapatkan tidak linier melainkan berupa kurva pangkat tiga. Hal ini ditunjukkan dengan hasil persamaan garis kurva yang didapatkan melalui trending Microsoft Excel dan dapat dilihat pada tabel 4.6. Lalu berdasarkan analisis non-dimensional yang dilakukan, saat dimensi turbin dibuat tetap namun kecepatan aliran fluida dinaikkan dua kali maka akan membuat daya yang dihasilkan meningkat delapan kali. Hal yang sama akan berlaku juga saat kecepatan dinaikkan sesuai dengan variasi dari kecepatan 0.5 m/s hingga 2 m/s.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 ; P \sim V^3$$



(a)



(b)

**Gambar 4.17** Daya tiap kecepatan dengan variasi dimensi turbin (a) Torsi pada V-Straight (b) Torsi pada V-Helical



Berikut merupakan tabel nilai daya setiap kenaikan kecepatan aliran dengan variasi perubahan dimensi pada turbin *V-Straight* dan *V-Helical*.

**Tabel 4.10** Daya vs Kecepatan pada turbin *V-Straight*

Daya	Dimensi 1	Dimensi 2	Dimensi 3	Dimensi 4
0.5 m/s	390.7709	1597.689	3935.895	6680.38
1 m/s	1707.073	6939.925	17082.42	28942.9
1.5 m/s	4436.376	18090.81	44680.9	75753.68
2 m/s	8764.793	37054.38	91601.63	157595.4

**Tabel 4.11** Daya vs Kecepatan pada turbin *V-Helical*

Daya	Dimensi 1	Dimensi 2	Dimensi 3	Dimensi 4
0.5 m/s	347.107	1339.434	2980.56	5234.701
1 m/s	1508.015	5868.527	12976.28	23026.87
1.5 m/s	3920.393	15336.84	33813.37	60342.56
2 m/s	8021.515	31484.57	69357.26	124028.1

Berikut merupakan tabel persamaan garis kurva yang didapatkan melalui trending pada Microsoft Excel.

**Tabel 4.12** Persamaan Garis Daya P pada *V-Straight* dan *V-Helical*

<i>V-Straight</i>	<i>V-Helical</i>
$y = 13977x^3 + 7165.8x^2 + 9316.7x - 1516.6$ $R^2 = 1, (\text{dimensi } 4)$	$y = 9128.4x^3 + 11662x^2 + 2117x + 119.73$ $R^2 = 1, (\text{dimensi } 4)$
$y = 6493.7x^3 + 9422.8x^2 + 794.9x + 371.04$ $R^2 = 1, (\text{dimensi } 3)$	$y = 5153.9x^3 + 6221x^2 + 1640.6x - 39.235$ $R^2 = 1, (\text{dimensi } 3)$
$y = 2672.1x^3 + 3601.1x^2 + 606.66x + 60.065$ $R^2 = 1, (\text{dimensi } 2)$	$y = 2320.3x^3 + 2917.7x^2 + 621.25x + 9.3652$ $R^2 = 1, (\text{dimensi } 2)$
$y = 248.15x^3 + 2081.5x^2 - 923.98x + 301.35$ $R^2 = 1, (\text{dimensi } 1)$	$y = 583.03x^3 + 753.84x^2 + 170.75x + 0.3926$ $R^2 = 1, (\text{dimensi } 1)$

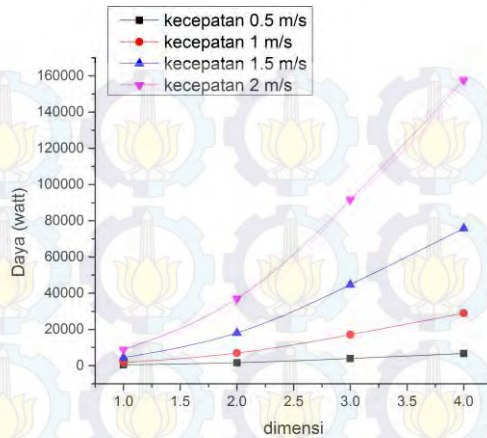
#### 4.4.2. Pengaruh Perbesaran Dimensi Terhadap Performansi Turbin Dengan Variasi Kecepatan Aliran Fluida

Pada perbesaran dimensi turbin secara bertahap dari dimensi 1 sampai perbesaran dimensi 4 kali dapat diamati pengaruhnya terhadap performansi turbin, seperti kecepatan sudut (RPM) turbin, fluktuasi gaya  $F_x$ ,  $F_y$ , torsi dan daya. Perbesaran dimensi turbin akan membuat kecepatan sudut (RPM) turbin menurun, hal ini berdasarkan penurunan analisis non-dimensional yang sudah dilakukan. Saat kecepatan aliran fluida dibuat tetap namun dimensi turbin dinaikkan dua kali maka akan membuat kecepatan sudut menurun sebesar dua kali juga. Hal yang sama akan berlaku juga saat dimensi turbin diperbesar sesuai dengan variasi dari perbesaran 1 kali hingga perbesaran 4 kali.

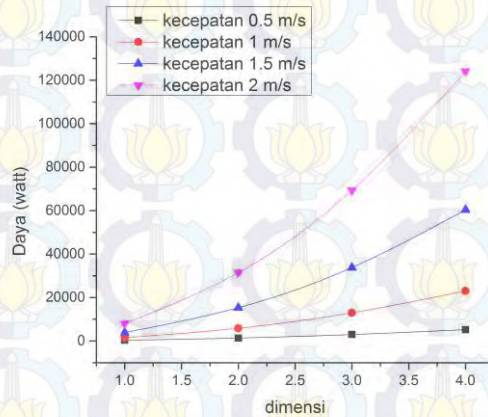
$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right) \left(\frac{D_1}{D_2}\right)$$

Berdasarkan gambar 4.18 dapat dilihat hubungan yang sebanding antara perbesaran dimensi turbin terhadap daya keluaran yang dihasilkan turbin. Hubungan yang didapatkan tidak linier melainkan berupa kurva kuadratik (pangkat dua). Pernyataan ini dapat ditunjukkan dengan hasil persamaan garis kurva yang didapatkan melalui trending Microsoft Excel. Persamaan garis kurva tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6. Disamping itu berdasarkan analisis non-dimensional yang dilakukan terlihat juga hubungan yang sama. Saat kecepatan aliran fluida dibuat tetap namun dimensi turbin diperbesar dua kali maka akan membuat daya yang dihasilkan meningkat sebesar empat kali. Hal yang sama akan berlaku juga saat dimensi diperbesar sesuai dengan variasi dari perbesaran 1 kali hingga perbesaran 4 kali.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 ; P \sim A \sim D^2$$



(a)



(b)

**Gambar 4.18** Daya tiap dimensi turbin dengan variasi kecepatan aliran fluida (a) Torsi pada *V-Straight* (b) Torsi pada *V-Helical*



Berikut merupakan tabel nilai daya setiap kenaikan perubahan dimensi dengan variasi kecepatan aliran pada turbin *V-Straight* dan *V-Helical*.

**Tabel 4.13** Daya vs Perubahan Dimensi pada turbin *V-Straight*

Daya	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s
Dimensi 1	390.7709	1707.073	4436.376	8764.793
Dimensi 2	1597.689	6939.925	18090.81	37054.38
Dimensi 3	3935.895	17082.42	44680.9	91601.63
Dimensi 4	6680.38	28942.9	75753.68	157595.4

**Tabel 4.14** Daya vs Perubahan Dimensi pada turbin *V-Helical*

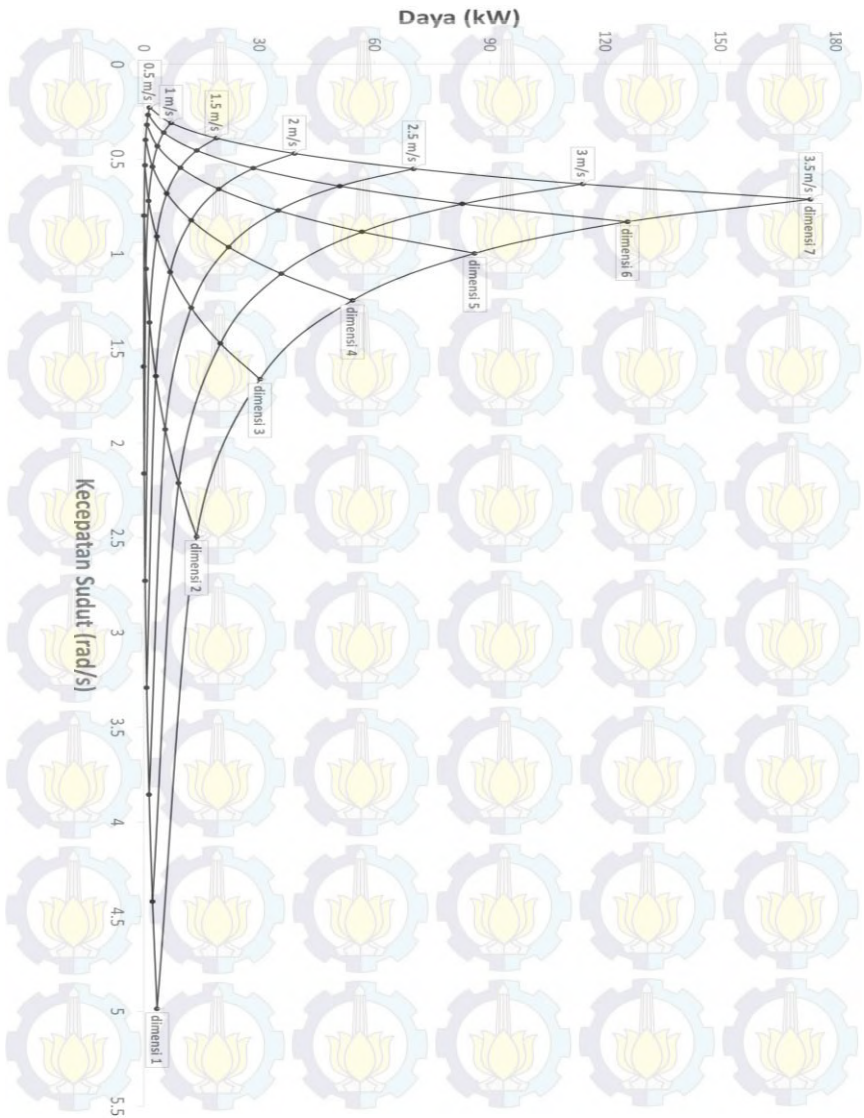
Daya	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s
Dimensi 1	347.107	1508.015	3920.393	8021.515
Dimensi 2	1339.434	5868.527	15336.84	31484.57
Dimensi 3	2980.56	12976.28	33813.37	69357.26
Dimensi 4	5234.701	23026.87	60342.56	124028.1

Berikut merupakan tabel persamaan garis kurva yang didapatkan melalui trending pada Microsoft Excel.

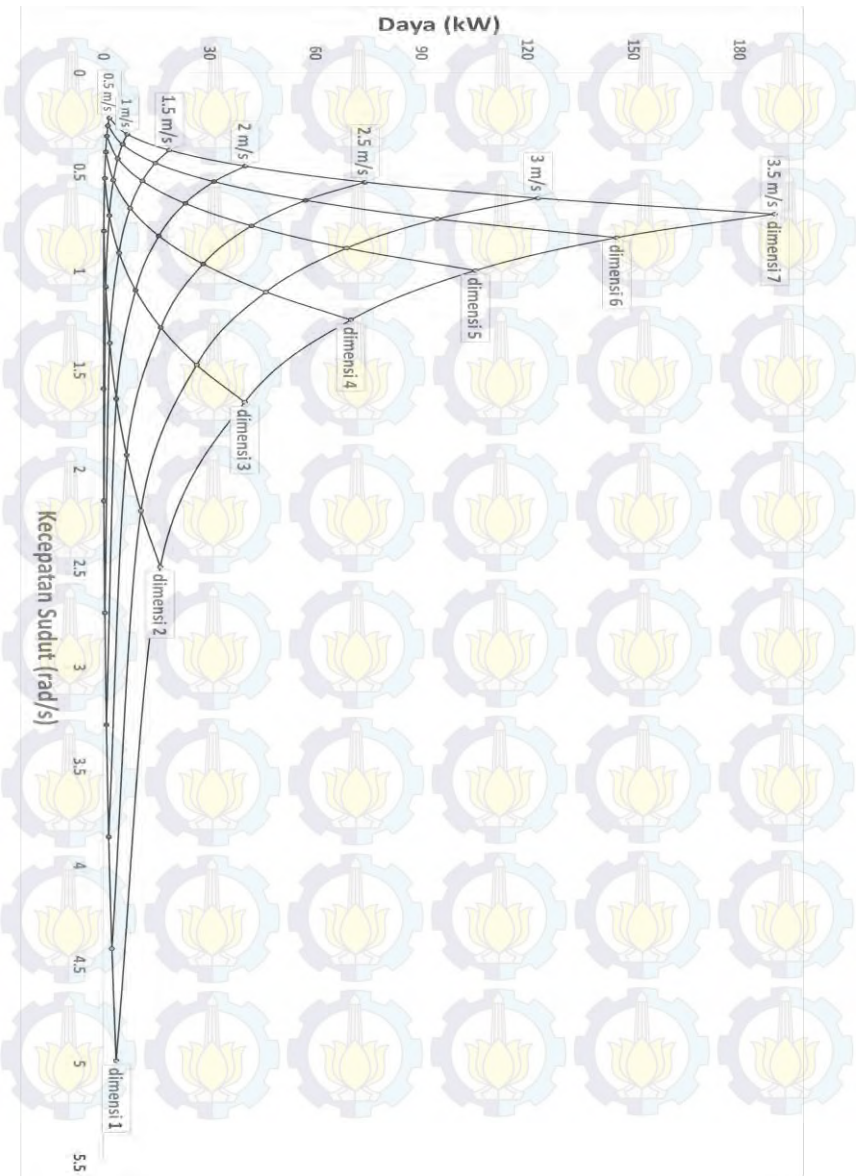
**Tabel 4.15** Persamaan Garis Daya P pada *V-Straight* dan *V-Helical*

<i>V-Straight</i>	<i>V-Helical</i>
$y = 9426x^2 + 2973.7x - 4375.5$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 2 m/s)	$y = 7801.9x^2 - 420.48x + 759.48$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 2 m/s)
$y = 4354.6x^2 + 2281.3x - 2622.1$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1.5 m/s)	$y = 3778.2x^2 - 116.63x + 308.46$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1.5 m/s)
$y = 1656.9x^2 + 900.45x - 1009.9$ $R^2 = 1$ , (dimensi 1 m/s)	$y = 1422.5x^2 + 53.834x + 41.442$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 1 m/s)
$y = 384.39x^2 + 198.74x - 228.62$ $R^2 = 1$ , (dimensi 0.5 m/s)	$y = 315.45x^2 + 53.123x - 23.259$ $R^2 = 1$ , (kecepatan 0.5 m/s)

#### 4.4.3. Diagram Performansi Turbin



**Gambar 4.19.** Diagram performansi turbin *V-Helical*



Gambar 4.20. Diagram performansi turbin V-Straight

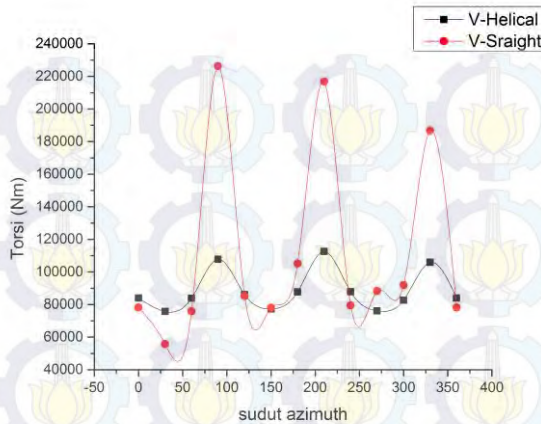


Pada gambar 4.19 diatas merupakan konfigurasi performansi salah satu turbin arus laut yang digunakan pada penelitian ini yaitu tipe *V-Helical*. Dengan kisaran kecepatan aliran fluida 0.5 m/s – 3.5 m/s dan kisaran perbesaran dimensi 1 hingga perbesaran dimensi 7. Dari gambar tersebut dapat digunakan untuk menentukan dimensi turbin yang akan dibuat saat kecepatan aliran tertentu agar menghasilkan daya aktual keluaran yang diinginkan. Sebagai contoh jika ingin membuat turbin dengan kapasitas 30 kW dapat dibuat dengan perbesaran dimensi 4 dalam kisaran kecepatan aliran fluida 2.5 m/s hingga 3 m/s, sedangkan jika kecepatan aliran fluida maksimal hanya 2 m/s, maka diperlukan turbin yang memiliki ukuran perbesaran dimensi 6 kali.

Pada gambar 4.20 diatas merupakan konfigurasi performansi jenis turbin arus laut yang lainnya, yaitu tipe *V-Straight*. Dengan kisaran kecepatan aliran fluida 0.5 m/s – 3.5 m/s dan kisaran perbesaran dimensi 1 hingga perbesaran dimensi 7. Dari gambar tersebut dapat digunakan untuk menentukan dimensi turbin yang akan dibuat saat kecepatan aliran tertentu agar menghasilkan daya aktual keluaran yang diinginkan. Sebagai contoh jika ingin membuat turbin dengan kapasitas 30 kW dapat dibuat dengan perbesaran dimensi 4 dalam kisaran kecepatan aliran fluida 2.5 m/s, sedangkan jika kecepatan aliran fluida maksimal hanya 2 m/s, maka diperlukan turbin yang memiliki ukuran perbesaran dimensi 5 kali hingga 6 kali.

#### **4.4.4. Pengaruh jenis blade terhadap torsi di setiap sudut azimuth**

Pada turbin *V-Straight* dan *V-Helical* dilakukan pengambilan data torsi disetiap sudut azimuth selama satu putaran penuh. Dari gambar 4.20 merupakan hasil perbandingan torsi pada dimensi 4 kali saat kecepatan aliran 1.5 m/s antara turbin *V-Straight* dan turbin *V-Helical*.



**Gambar 4.21** Perbandingan torsi tiap sudut azimuth pada turbin *V-Straight* dan *V-Helical*

Pada turbin *V-Straight* nilai torsi bersilasi sangat fluktuatif di setiap kenaikan  $30^0$  sudut azimuth, terutama nilai torsi pada sudut azimuth  $90^0$ ,  $210^0$  dan  $330^0$  sangat tinggi serta pada sudut azimuth  $30^0$  nilai torsi sangat rendah. Sebaliknya pada turbin *V-Helical* nilai torsi tetap bersilasi namun cenderung lebih stabil dibandingkan nilai torsi pada turbin *V-Straight*. Hal ini disebabkan oleh pembebanan torsi yang terdistribusi secara merata di sepanjang blade helical atau di sepanjang sudut azimuth turbin. Kestabilan torsi ini akan mempengaruhi vibrasi yang terjadi pada sumbu shaft turbin. Turbin *V-Helical* yang memiliki torsi stabil akan membuat umur turbin lebih lama, sedangkan pada turbin jenis *V-Straight* yang memiliki torsi fluktuatif akan membuat umur turbin menjadi pendek seperti terjadi fraktur atau patah pada blade akibat torsi yang terlalu besar dan fluktuatif. Berdasarkan data hasil simulasi CFD, meskipun torsi pada turbin *V-Helical* lebih stabil dibandingkan pada turbin *V-Straight*, nilai rata-rata torsi pada turbin *V-Straight* yang besarnya 111028 Nm lebih tinggi dibandingkan dengan nilai torsi rata – rata turbin *V-Helical* yang besarnya hanya 88585 Nm.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi, analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pada berbagai variasi dimensi turbin, kecepatan aliran fluida berbanding lurus dengan kecepatan sudut turbin (RPM), lalu gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan torsi sebanding dengan kuadrat kecepatan, lalu daya turbin sebanding dengan pangkat tiga kecepatan aliran fluida
- Pada berbagai variasi kecepatan aliran fluida, dimensi turbin berbanding terbalik dengan kecepatan sudut turbin (RPM), lalu gaya  $F_x$ ,  $F_y$  dan daya turbin sebanding dengan kuadrat perbesaran dimensi, lalu torsi sebanding dengan pangkat tiga perbesaran dimensi
- Turbin tipe *V-Helical* menghasilkan torsi yang lebih stabil dibandingkan dengan turbin tipe *V-Straight*, namun nilai rata-rata torsi pada turbin *V-Straight* yang besarnya 111028 Nm lebih tinggi dibandingkan dengan torsi rata – rata turbin *V-Helical* yang besarnya hanya 88585 Nm

#### **5.2. Saran**

Beberapa saran dan rekomendasi yang dapat diberikan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Dapat dilakukan modifikasi sudut inklinasi pada turbin tipe v-helical untuk mengetahui pengaruhnya pada performansi turbin
- Untuk mempermudah proses validasi, dapat dilakukan eksperimental berdasarkan konsep analisis non-dimensional dan dilakukan pengambilan data setiap  $5^0$  atau  $10^0$  sudut azimuth selama satu putaran turbin





## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BPPT. 2013. "*Energy Outlook Indonesia 2013*", Lybrary of Congress Cataloging-in-Publication Data, Indonesia
- [2]. Scheurich F, Fletcher M Timothy and Brown E Richard.2010. "*The Influence of Blade Curvature and Helical Blade Twist on the Performance of a Vertical-Axis Wind Turbine*", University of Glasgow, UK
- [3]. Yang B. dan Shu X.W. 2012, "*Hydrofoil optimization and experimental validation in helical vertical axis turbine for power generation from marine current*", Shanghai Jiaotong University, China
- [4]. Gorlov, A. M. 2001, "*Tidal energy*", Northeastern University, Boston Massachusetts, USA
- [5]. Rahmstorf, Stefan. 2003. "*Thermohaline circulation: The current climate*". Nature 421Olson, Reuben M. and Steven J. Wright. 1990. "*Essential Of Engineering Fluid Mechanic fifth Edition*". Harper and Row Publisher, Inc.
- [6]. [www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/0506/marine\\_renewables/home/contents.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/0506/marine_renewables/home/contents.htm)
- [7]. [www.djlpe.esdm.go.id](http://www.djlpe.esdm.go.id)
- [8]. Karl Sornes. "*Small-scale water current turbine for river application*" ZERO (2010)
- [9]. Jones A. M, O'Doherty, D.M, etc. 2012. "*Non-dimensional scaling of tidal stream turbines*", Cardiff University and University of Liverpool, UK.
- [10]. Zobia A.F and Bansal R.C. 2011. "*Handbook of Renewable Energy Technology*".World Scientific Publishing Company.
- [11]. Erwandi, The Research on Marine Current Turbine in Indonesian Hydrodynamics Laboratory, Proceeding of 6th Biennial International Conference on Marine Technology, 2008.
- [12]. Bruce, E. R. "*Numerical Modeling of a Gorlov Cross Flow Tidal Turbine*", 3<sup>rd</sup> Oxford Tidal Energy Workshop, 7-8 April 2014, Oxford,UK

- [13]. Yang B. dan Shu X.W. 2012, "*Hydrofoil optimization and experimental validation in helical vertical axis turbine for power generation from marine current*", Shanghai Jiaotong University, China
- [14]. Olson, Reuben M. and Steven J. Wright. 1990. "Essential Of Engineering Fluid Mechanic fifth Edition". Harper and Row Publisher, Inc.
- [15]. Munson, Bruce R, Donald F Young, and Theodore H. Okiishi. 2002. "*Fundamental of Fluids Mechanic 2nd edition*". John Wiley & son, Inc Canada
- [16]. Kuncoro, D.N. 2012. "*Simulasi Perhitungan Torsi, Daya dan Efisiensi Turbine Darrieus pada Hydrofoil NACA 0012 Dari Karakteristik  $C_L$  dan  $C_D$  Hasil Simulasi Fluent*", Universitas Diponegoro, Semarang
- [17]. Mulyadi, Muhamad. "Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Terbang Dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamics". Universitas Guna Darma : Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin.
- [18]. Jacobs E. N, K. E. Ward, & R. M. Pinkerton. 1933. "The characteristics of 78 related airfoil sections from tests in the variable-density wind tunnel". NACA Report No. 460.
- [19]. Namiranian, Abtin. 2011. "*3D Simulation of a 5MW Wind Turbine*", Blekinge Institute of Technology, Sweden
- [20]. Castelli, M.R, Betta, S.D, dan Benini E. "*Three Dimensional Modeling of a Twisted-Blade Darrieus Vertical-Axis Wind Turbine*", World Academy of Science, Engineering and Technology Vol:7 2013-06-20



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 1, Kecepatan 0.5 m/s

### LAMPIRAN 1A

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	41.78	-34.59	28.50	57.32	34.64	16.11	31.18	-4.02	136.09	34.81	140.47
30	54.53	-17.86	2.43	9.13	15.38	1.94	21.38	-3.25	93.72	-10.04	94.25
60	122.14	-12.16	34.91	-38.29	-13.05	12.64	21.40	-0.65	165.40	-38.46	169.81
90	349.77	220.38	172.54	-76.88	3.69	-126.08	12.38	-1.99	538.38	15.42	538.60
120	37.58	48.97	39.70	-2.12	74.87	-45.53	10.14	-7.44	162.29	-6.12	162.40
150	5.05	18.19	7.27	-4.93	80.94	-20.63	13.70	-9.77	106.95	-17.14	108.32
180	30.22	-33.22	-15.22	-9.54	176.95	5.56	16.61	-9.89	208.55	-47.09	213.80
210	136.76	-72.45	22.51	-186.14	341.87	211.31	13.98	-11.27	515.13	-58.55	518.44
240	13.80	-10.12	90.84	-69.03	30.20	43.20	17.90	-18.11	152.74	-54.06	162.03
270	-3.90	-13.05	101.59	-21.83	4.51	5.93	23.40	-19.05	125.59	-47.99	134.45
300	-9.38	-27.60	195.87	14.95	41.75	-63.02	20.57	-15.25	248.82	-90.92	264.91
330	28.08	-195.56	324.72	197.84	131.82	-94.23	14.03	-15.80	498.65	-107.75	510.16
360	41.78	-34.59	28.50	57.32	34.64	16.11	31.18	-4.02	136.09	34.81	140.47

## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 1, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 1B

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	26.26	37.14	-40.26	22.19	-13.60	22.80	3.89	31.67	-23.70	113.80	116.24
30	16.54	50.08	-8.96	1.02	-0.90	15.21	3.12	21.57	9.80	87.88	88.42
60	10.73	124.44	36.17	33.02	-11.39	-13.40	0.67	21.80	36.17	165.86	169.75
90	-230.53	370.28	84.45	183.24	135.95	1.88	1.92	13.19	-8.22	568.60	568.66
120	-44.58	34.31	3.79	30.93	35.30	68.49	7.29	10.94	1.81	144.66	144.67
150	-18.57	3.78	5.25	8.02	18.75	73.20	9.88	13.97	15.30	98.97	100.15
180	31.94	28.94	10.01	-16.23	-4.99	178.29	10.44	16.87	47.40	207.87	213.21
210	81.08	149.84	198.69	24.56	-225.84	368.50	11.82	14.53	65.75	557.43	561.29
240	9.76	10.70	58.15	86.28	-38.58	26.81	18.40	18.66	47.74	142.46	150.25
270	13.67	-2.75	19.39	96.17	-6.21	3.17	19.81	24.25	46.66	120.85	129.54
300	28.41	-9.85	-15.53	200.08	61.36	40.81	16.35	22.01	90.59	253.05	268.78
330	217.02	30.11	-212.08	350.47	105.91	146.84	16.56	15.65	127.41	543.07	557.81
360	26.26	37.14	-40.26	22.19	-13.60	22.80	3.89	31.67	-23.70	113.80	116.24



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 1, Kecepatan 1 m/s

## LAMPIRAN 1C

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	103.07	-94.42	89.01	155.08	168.56	42.37	112.95	-12.19	473.59	90.83	482.22
30	152.36	-59.96	10.67	13.82	59.60	21.94	86.59	-7.91	309.22	-32.11	310.89
60	356.24	-38.47	105.47	-133.51	-3.75	47.71	77.58	2.89	535.55	-121.38	549.13
90	982.26	612.90	608.95	-285.11	75.04	-339.02	40.31	-11.33	1706.56	-22.57	1706.71
120	100.81	96.09	165.53	7.70	213.23	-141.82	36.82	-34.39	516.38	-72.42	521.44
150	24.48	19.87	41.60	9.19	248.13	-73.96	71.94	-38.83	386.15	-83.73	395.12
180	110.99	-137.22	-4.93	-40.77	482.18	3.30	94.76	-28.59	682.99	-203.28	712.60
210	458.72	-263.42	115.40	-579.26	950.03	557.64	76.10	-32.68	1600.25	-317.72	1631.49
240	70.59	-29.80	254.42	-182.87	95.76	92.90	81.74	-61.97	502.51	-181.74	534.36
270	28.54	-16.18	286.21	-72.11	23.51	6.29	106.52	-66.83	444.78	-148.83	469.02
300	16.48	-82.86	531.78	20.14	125.88	-187.56	104.07	-52.92	778.21	-303.19	835.19
330	132.50	-488.81	921.01	529.52	450.53	-296.97	79.84	-61.61	1583.87	-317.87	1615.46
360	103.07	-94.42	89.01	155.08	168.56	42.37	112.95	-12.19	473.59	90.83	482.22



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 1, Kecepatan 1 m/s

## LAMPIRAN 1D

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	72.56	92.35	-111.04	68.94	-34.07	121.30	11.63	114.76	-60.92	397.35	401.99
30	55.58	140.37	-14.40	8.71	-18.60	59.69	7.61	87.26	30.20	296.02	297.56
60	34.41	360.84	127.91	98.63	-46.38	-4.78	-2.64	79.34	113.29	534.03	545.92
90	-644.77	1044.01	312.68	646.16	349.47	72.26	10.96	42.63	28.34	1805.06	1805.29
120	-83.13	89.02	-0.70	131.53	116.26	195.14	33.73	39.05	66.16	454.73	459.52
150	-21.61	22.92	-7.70	44.28	67.44	224.18	39.09	70.06	77.22	361.44	369.60
180	132.60	106.55	46.40	-7.12	-2.04	486.67	29.97	94.15	206.93	680.26	711.04
210	289.79	495.89	621.62	121.63	-595.01	1020.36	33.47	78.69	349.87	1716.57	1751.86
240	27.99	61.42	156.50	242.16	-82.09	84.38	61.72	84.29	164.12	472.25	499.96
270	16.55	33.75	65.45	265.55	-9.32	20.95	68.69	108.20	141.37	428.44	451.17
300	93.75	12.33	-19.82	538.40	177.61	118.45	55.94	109.32	307.48	778.50	837.02
330	536.58	140.74	-565.97	989.94	325.94	486.95	63.46	86.58	360.01	1704.21	1741.82
360	72.56	92.35	-111.04	68.94	-34.07	121.30	11.63	114.76	-60.92	397.35	401.99

## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 1, Kecepatan 1.5 m/s

LAMPIRAN 1E

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	187.39	-181.51	180.18	302.45	387.61	80.87	244.83	-24.30	1000.01	177.51	1015.64
30	284.39	-125.51	22.48	20.93	129.26	56.36	193.76	-13.63	629.89	-61.85	632.92
60	711.64	-78.44	198.84	-265.73	14.02	90.58	164.95	8.47	1089.45	-245.12	1116.69
90	1925.24	1195.55	1276.88	-609.67	181.09	-610.53	80.49	-31.34	3463.71	-55.99	3464.16
120	194.10	166.25	359.50	20.06	412.31	-284.98	79.07	-76.49	1044.98	-175.17	1059.56
150	52.42	14.82	104.91	35.32	494.49	-148.42	172.75	-73.29	824.57	-171.57	842.23
180	234.77	-302.99	27.75	-88.56	922.19	-12.31	220.20	-43.44	1404.92	-447.30	1474.41
210	975.09	-571.75	258.92	-1040.55	1857.99	1072.22	168.40	-61.83	3260.40	-601.91	3315.49
240	184.68	-52.75	484.61	-340.41	193.41	161.47	176.65	-130.17	1039.35	-361.86	1100.54
270	86.59	-21.23	565.64	-145.82	53.98	-4.55	243.89	-135.42	950.11	-307.02	998.48
300	95.13	-116.58	1001.71	10.76	272.07	-397.57	246.53	-97.72	1615.43	-601.11	1723.65
330	289.92	-804.29	1804.29	1013.90	1021.83	-649.14	189.03	-120.94	3305.07	-560.47	3352.25
360	187.39	-181.51	180.18	302.45	387.61	80.87	244.83	-24.30	1000.01	177.51	1015.64



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 1, Kecepatan 1.5 m/s

LAMPIRAN 1F

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	140.09	166.39	-219.08	139.93	-63.34	283.79	23.06	248.76	-119.27	838.87	847.30
30	119.95	262.05	-22.60	20.06	-49.56	129.83	13.09	195.28	60.88	607.23	610.27
60	70.23	718.27	255.78	185.09	-92.90	13.73	-8.07	169.20	225.04	1086.29	1109.35
90	-1259.39	2047.99	667.95	1354.57	637.23	181.14	30.08	85.63	75.88	3669.32	3670.11
120	-141.56	167.99	-6.31	287.20	235.33	376.73	75.14	82.66	162.60	914.58	928.92
150	-18.67	50.36	-31.83	108.50	138.93	466.71	72.97	167.72	161.40	793.29	809.54
180	292.33	223.84	106.52	20.77	14.57	931.45	46.24	221.77	459.66	1397.83	1471.47
210	627.91	1052.40	1106.03	270.39	-1140.53	1987.59	63.47	176.90	656.88	3487.29	3548.61
240	50.71	163.65	288.25	456.42	-141.08	168.90	129.63	182.27	327.51	971.25	1024.98
270	22.18	95.76	136.07	545.17	-2.48	50.27	138.40	246.15	294.18	937.36	982.43
300	137.30	87.62	-9.87	1013.96	374.19	253.86	102.50	256.95	604.11	1612.39	1721.84
330	880.60	305.37	-1081.32	1934.96	707.67	1095.65	122.33	202.72	629.29	3538.70	3594.22
360	140.09	166.39	-219.08	139.93	-63.34	283.79	23.06	248.76	-119.27	838.87	847.30



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 1, Kecepatan 2 m/s

## LAMPIRAN 1G

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	302.60	-293.49	302.53	497.03	692.78	130.15	426.72	-40.18	1724.64	293.52	1749.43
30									0.00	0.00	0.00
60	1179.26	-134.46	322.24	-443.76	34.18	143.54	282.69	16.55	1818.36	-418.13	1865.82
90	3197.65	1978.14	2171.01	-1045.70	321.75	-941.79	132.36	-58.92	5822.77	-68.27	5823.17
120	315.31	250.47	604.67	32.40	681.82	-478.01	141.21	-130.25	1743.00	-325.38	1773.11
150	87.96	5.36	195.96	68.52	808.23	-258.72	319.51	-115.16	1411.65	-300.00	1443.18
180	411.85	-545.38	90.09	-142.42	1523.78	-30.36	385.40	-56.19	2411.11	-774.35	2532.41
210	1689.56	-990.76	463.27	-1576.05	3048.73	1752.59	279.13	-99.74	5480.69	-913.96	5556.38
240	355.23	-78.14	786.08	-528.86	316.27	238.81	294.15	-219.27	1751.72	-587.46	1847.60
270	172.73	-27.03	887.68	-252.81	95.06	-23.27	424.66	-218.60	1580.12	-521.70	1664.02
300	226.02	-125.72	1617.82	-3.86	492.44	-717.74	432.30	-145.99	2768.57	-993.31	2941.37
330	511.18	-1181.53	2937.68	1649.23	1806.08	-1121.44	327.85	-194.83	5582.80	-848.57	5646.92
360	302.60	-293.49	302.53	497.03	692.78	130.15	426.72	-40.18	1724.64	293.52	1749.43

## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 1, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 1H

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	230.62	276.85	-361.56	235.54	-100.34	511.53	37.96	433.70	-193.32	1457.63	1470.39
30									0.00	0.00	0.00
60	121.68	1188.71	428.91	299.26	-155.29	36.22	-15.96	290.40	379.34	1814.59	1853.81
90	-2086.76	3404.31	1144.64	2303.13	998.79	325.73	56.15	141.14	112.82	6174.30	6175.33
120	-207.41	270.31	-10.66	482.78	396.25	623.30	127.19	145.95	305.37	1522.34	1552.66
150	-12.54	85.01	-62.85	203.72	237.54	726.04	114.81	309.42	276.96	1324.19	1352.85
180	527.17	392.30	180.21	76.73	31.84	1535.42	62.31	388.57	801.53	2393.02	2523.68
210	1084.64	1816.32	1664.64	488.08	-1868.88	3265.63	101.82	291.33	982.22	5861.35	5943.08
240	77.19	315.51	451.37	748.27	-203.88	274.38	213.70	298.89	538.38	1637.05	1723.30
270	27.35	194.43	232.40	822.04	10.26	89.97	219.27	421.98	489.27	1528.42	1604.82
300	161.42	215.69	6.64	1626.41	677.35	459.91	151.71	446.09	997.12	2748.09	2923.40
330	1301.00	540.99	-1763.77	3153.69	1216.36	1925.53	195.13	347.94	948.72	5968.14	6043.08
360	230.62	276.85	-361.56	235.54	-100.34	511.53	37.96	433.70	-193.32	1457.63	1470.39



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 2, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 2A

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	170.96	-169.38	105.83	244.72	177.90	86.31	124.13	-14.88	578.82	146.77	597.14
30	245.73	-89.72	13.96	36.96	52.09	19.05	85.28	-12.44	397.07	-46.16	399.75
60	480.61	-56.85	138.31	-156.11	-51.10	40.04	85.51	-3.23	653.32	-176.14	676.65
90	1369.18	867.32	687.85	-305.06	10.27	-456.23	50.55	-9.05	2117.85	96.97	2120.07
120	139.62	201.35	211.05	5.39	298.97	-209.91	40.93	-28.48	690.56	-31.65	691.29
150	20.75	76.45	23.62	-17.23	403.86	-99.49	54.30	-36.35	502.53	-76.61	508.33
180	119.73	-135.14	-63.89	-39.30	727.87	23.57	63.65	-35.22	847.36	-186.09	867.56
210	542.90	-279.89	83.42	-713.72	1355.65	834.81	50.67	-39.40	2032.64	-198.20	2042.28
240	89.14	-28.29	380.75	-323.38	117.63	181.47	62.86	-62.06	650.38	-232.25	690.61
270	-18.95	-62.54	479.83	-105.89	17.76	27.06	81.08	-66.01	559.71	-207.38	596.90
300	-37.78	-113.81	795.12	60.18	164.42	-254.81	69.01	-52.38	990.77	-360.82	1054.42
330	102.89	-803.12	1292.47	783.01	511.36	-364.10	44.73	-53.78	1951.44	-437.98	1999.99
360	170.96	-169.38	105.83	244.72	177.90	86.31	124.13	-14.88	578.82	146.77	597.14



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 2, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 2B

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	254.87	284.66	-383.99	159.79	-158.62	278.07	29.31	250.79	-258.43	973.31	1007.03
30	180.62	508.28	-79.87	22.20	-40.27	112.03	23.34	170.74	83.81	813.25	817.56
60	105.30	927.58	310.03	269.85	-69.18	-111.79	5.61	173.45	351.76	1259.09	1307.31
90	-1822.00	2911.83	669.67	1458.11	1003.00	15.99	15.78	108.18	-133.55	4494.11	4496.09
120	-384.54	253.16	-3.87	365.04	334.45	535.23	55.61	91.29	1.65	1244.72	1244.72
150	-159.78	33.20	25.39	52.82	193.60	821.89	74.72	115.50	133.94	1023.41	1032.14
180	277.45	238.39	84.93	-135.03	-45.56	1424.22	77.03	133.02	393.86	1660.60	1706.66
210	634.12	1202.36	1517.60	184.01	-1794.40	2935.52	83.85	105.39	441.17	4427.28	4449.20
240	48.94	167.64	548.83	711.00	-343.90	211.36	126.30	128.55	380.17	1218.55	1276.47
270	123.08	-42.57	195.34	967.14	-54.27	27.13	135.50	166.40	399.65	1118.09	1187.37
300	226.42	-76.51	-123.40	1568.75	519.73	329.57	112.98	147.02	735.74	1968.82	2101.80
330	1775.74	223.07	-1695.12	2812.85	827.49	1155.79	113.87	99.14	1021.98	4290.85	4410.88
360	254.87	284.66	-383.99	159.79	-158.62	278.07	29.31	250.79	-258.43	973.31	1007.03

## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 2, Kecepatan 1 m/s

## LAMPIRAN 2C

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	407.07	-445.80	330.04	646.77	821.94	220.22	449.30	-44.93	2008.35	376.26	2043.29
30	677.62	-305.51	45.67	52.17	221.18	132.13	343.24	-30.80	1287.71	-152.01	1296.65
60	1391.92	-179.01	422.56	-553.72	-32.93	263.10	305.45	0.54	2087.00	-469.08	2139.06
90	3868.51	2434.27	2407.28	-1119.07	207.39	-1273.44	164.07	-40.40	6647.25	1.36	6647.25
120	382.56	389.66	832.18	63.84	815.91	-595.49	153.49	-124.84	2184.15	-266.84	2200.38
150	87.08	80.23	153.51	54.75	1231.93	-359.80	284.23	-134.92	1756.74	-359.74	1793.20
180	444.25	-563.12	-9.54	-118.14	1964.69	3.13	367.89	-85.99	2767.29	-764.12	2870.85
210	1801.09	-1013.97	410.01	-2276.82	3766.15	2210.48	291.55	-101.71	6268.81	-1182.02	6379.27
240	364.51	-104.19	1030.25	-814.19	373.16	377.69	301.93	-218.66	2069.85	-759.35	2204.74
270	122.68	-73.33	1386.11	-359.42	84.45	27.09	390.37	-244.03	1983.61	-649.69	2087.30
300	63.25	-282.29	2188.44	80.99	509.23	-774.07	380.30	-188.43	3141.22	-1163.81	3349.88
330	473.80	-1877.03	3671.52	2099.78	1764.20	-1153.44	284.49	-216.55	6194.01	-1147.24	6299.36
360	407.07	-445.80	330.04	646.77	821.94	220.22	449.30	-44.93	2008.35	376.26	2043.29



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 2, Kecepatan 1 m/s

## LAMPIRAN 2D

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	693.93	650.93	-1008.79	500.60	-386.85	1339.88	86.56	908.40	-615.16	3399.81	3455.02
30	618.19	1399.28	-121.24	80.16	-272.20	501.90	55.49	688.75	280.24	2670.08	2684.75
60	348.55	2658.33	1105.84	830.44	-488.17	-75.45	-2.76	625.71	963.47	4039.02	4152.34
90	-5130.10	8241.18	2450.39	5099.10	2708.18	420.50	78.28	355.12	106.75	14115.90	14116.31
120	-706.13	683.37	-89.63	1455.24	974.17	1453.05	252.46	334.94	430.87	3926.60	3950.17
150	-170.54	155.79	-139.42	342.59	714.44	2490.13	275.89	571.00	680.37	3559.51	3623.95
180	1133.03	883.37	277.55	-32.70	17.58	3830.57	185.03	749.58	1613.19	5430.82	5665.36
210	2243.41	3921.38	4906.36	868.12	-4726.88	8090.22	207.64	620.10	2630.53	13499.82	13753.72
240	183.52	718.22	1373.26	1907.32	-696.66	667.34	441.39	636.74	1301.50	3929.62	4139.54
270	124.03	263.16	704.15	2804.82	-65.06	146.28	506.77	807.77	1269.89	4022.03	4217.74
300	628.45	106.38	-146.35	4304.47	1528.97	997.03	405.55	812.38	2416.63	6220.25	6673.20
330	4100.63	999.90	-4513.12	7921.02	2553.20	3861.43	444.67	625.11	2585.38	13407.46	13654.46
360	693.93	650.93	-1008.79	500.60	-386.85	1339.88	86.56	908.40	-615.16	3399.81	3455.02



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 2, Kecepatan 1.5 m/s

## LAMPIRAN 2E

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	750.39	-860.20	669.59	1247.60	1873.08	419.36	974.73	-88.87	4267.79	717.90	4327.75
30	1304.79	-643.56	88.71	75.70	488.41	319.42	768.29	-53.23	2650.19	-301.66	2667.31
60	2756.99	-366.82	810.94	-1128.38	-2.38	535.49	645.98	10.09	4211.53	-949.63	4317.26
90	7653.60	4776.14	5029.66	-2378.70	565.08	-2354.55	331.48	-107.30	13579.83	-64.41	13579.98
120	742.38	660.43	1768.75	148.68	1638.97	-1256.30	331.71	-277.94	4481.80	-725.13	4540.09
150	178.18	58.90	416.60	181.18	2458.92	-757.97	693.09	-252.38	3746.79	-770.28	3825.15
180	963.12	-1290.44	147.97	-213.37	3757.66	-68.49	862.92	-125.68	5731.67	-1697.97	5977.89
210	3817.77	-2211.59	955.77	-4061.04	7362.09	4254.68	649.39	-207.93	12785.02	-2225.88	12977.34
240	893.90	-188.20	1992.87	-1511.62	750.09	630.54	669.45	-489.10	4306.31	-1558.38	4579.61
270	397.48	-80.45	2700.53	-755.16	191.07	-22.77	920.20	-516.49	4209.28	-1374.86	4428.13
300	362.81	-391.39	4135.96	38.47	1145.50	-1727.57	934.96	-354.37	6579.23	-2434.86	7015.33
330	1075.65	-3059.06	7169.28	4025.15	4003.89	-2523.12	705.41	-440.39	12954.23	-1997.42	13107.32
360	750.39	-860.20	669.59	1247.60	1873.08	419.36	974.73	-88.87	4267.79	717.90	4327.75

## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 2, Kecepatan 1.5 m/s

LAMPIRAN 2F

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	1359.30	1179.78	-1943.55	1017.54	-728.50	3082.37	169.38	1971.98	-1143.36	7251.67	7341.25
30	1309.47	2644.69	-183.53	160.15	-658.33	1124.99	93.42	1543.70	561.04	5473.53	5502.21
60	721.41	5268.96	2251.82	1592.76	-1013.26	0.78	-22.90	1329.41	1937.06	8191.91	8417.82
90	-10076.20	16311.90	5199.43	10650.10	5062.03	1164.88	208.13	719.50	393.39	28846.38	28849.06
120	-1161.88	1311.20	-236.01	3117.28	2078.24	2894.73	560.14	708.89	1240.49	8032.10	8127.33
150	-134.90	324.69	-421.73	902.50	1504.58	4934.79	507.85	1367.80	1455.81	7529.79	7669.23
180	2577.34	1904.66	560.12	246.79	189.88	7323.58	279.15	1763.68	3606.49	11238.71	11803.19
210	4859.11	8258.83	8666.36	2003.71	-9090.39	15772.20	431.23	1392.78	4866.31	27427.52	27855.88
240	337.63	1754.58	2551.45	3676.37	-1131.33	1334.63	988.84	1406.40	2746.59	8171.98	8621.20
270	109.16	853.74	1483.25	5446.65	17.95	343.72	1065.94	1882.57	2676.30	8526.68	8936.82
300	903.53	694.92	-31.16	8118.66	3375.14	2224.44	754.35	1978.38	5001.86	13016.40	13944.36
330	6674.39	2260.07	-8644.99	15429.90	5520.29	8638.86	888.69	1536.01	4438.38	27864.84	28216.10
360	1359.30	1179.78	-1943.55	1017.54	-728.50	3082.37	169.38	1971.98	-1143.36	7251.67	7341.25



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 2, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 2G

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	1199.24	-1409.48	1120.70	2041.86	3315.41	671.80	1698.14	-146.70	7333.49	1157.48	7424.27
30	2199.25	-1091.82	145.44	103.27	857.42	580.42	1357.44	-79.76	4559.55	-487.90	4585.58
60	4621.71	-613.17	1311.18	-1876.78	49.74	853.74	1100.79	26.41	7083.42	-1609.79	7264.04
90	12655.40	7883.75	8560.02	-4086.26	1049.25	-3691.10	543.16	-200.63	22807.83	-94.24	22808.03
120	1212.13	1001.84	2991.88	227.18	2712.89	-2164.76	575.95	-467.79	7492.85	-1403.53	7623.17
150	292.88	8.27	782.49	349.32	4086.60	-1282.56	1273.34	-387.12	6435.32	-1312.08	6567.71
180	1667.91	-2278.63	422.99	-312.53	6276.76	-151.11	1512.79	-148.23	9880.45	-2890.50	10294.57
210	6637.47	-3858.86	1705.65	-6244.32	12092.10	6949.71	1094.21	-347.98	21529.43	-3501.45	21812.30
240	1730.40	-283.61	3231.37	-2429.24	1240.61	938.05	1144.11	-855.36	7346.49	-2630.16	7803.12
270	757.60	-87.83	4434.90	-1279.49	331.08	-120.87	1653.60	-852.10	7177.18	-2340.29	7549.10
300	855.47	-413.72	6815.99	-4.66	2054.15	-3080.84	1667.44	-523.57	11393.05	-4022.79	12082.40
330	1892.66	-4488.09	11721.30	6534.09	7184.03	-4439.81	1235.16	-714.85	22033.15	-3108.66	22251.37
360	1199.24	-1409.48	1120.70	2041.86	3315.41	671.80	1698.14	-146.70	7333.49	1157.48	7424.27



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 2, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 2H

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	2246.90	1865.43	-3182.62	1706.43	-1143.51	5461.00	278.04	3434.80	-1801.19	12467.66	12597.10
30	2217.50	4539.39	-256.55	266.84	-1200.84	1990.92	136.87	2729.27	896.98	9526.42	9568.55
60	1221.82	8772.68	3768.66	2588.91	-1639.03	136.79	-54.88	2273.60	3296.57	13771.98	14161.03
90	-16644.40	26987.70	8921.54	18111.00	8017.09	2174.35	392.30	1189.29	686.53	48462.34	48467.20
120	-1736.25	2130.17	-334.02	5286.94	3585.00	4758.06	942.67	1222.49	2457.40	13397.66	13621.16
150	-38.44	533.50	-806.19	1708.14	2550.46	8175.81	777.12	2512.66	2482.95	12930.11	13166.35
180	4559.98	3297.97	879.02	750.22	422.97	12089.20	355.05	3114.67	6217.02	19252.06	20230.99
210	8434.62	14273.80	13276.10	3566.70	-14883.30	25894.80	730.43	2367.00	7557.85	46102.30	46717.70
240	543.19	3402.11	4097.13	5949.36	-1653.69	2197.03	1727.19	2400.67	4713.82	13949.17	14724.11
270	86.50	1650.13	2551.92	8956.31	203.40	596.29	1736.76	3368.69	4578.58	14571.42	15273.82
300	995.13	1695.78	101.65	13290.40	6022.06	3981.57	1103.29	3521.06	8222.13	22488.81	23944.73
330	9822.52	3976.35	-14044.30	25198.20	9680.05	15437.80	1427.21	2683.04	6885.48	47295.39	47793.97
360	2246.90	1865.43	-3182.62	1706.43	-1143.51	5461.00	278.04	3434.80	-1801.19	12467.66	12597.10

## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 3, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 3A

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	474.96	-478.38	312.41	618.16	586.72	214.18	276.40	-36.86	1650.49	317.10	1680.67
30	763.45	-354.10	33.08	94.93	183.50	117.17	190.37	-28.93	1170.41	-170.93	1182.82
60	1228.09	-92.30	364.21	-421.41	-153.96	84.90	191.48	-4.64	1629.81	-433.44	1686.47
90	3043.61	1927.13	1520.22	-658.26	12.25	-980.80	110.55	-19.37	4686.63	268.70	4694.33
120	362.66	486.80	690.95	34.60	807.38	-573.43	80.20	-58.69	1941.18	-110.72	1944.34
150	51.01	180.89	76.16	-0.88	1241.59	-389.59	101.33	-70.19	1470.09	-279.77	1496.48
180	303.73	-356.02	-159.81	-80.93	1889.09	100.15	117.43	-63.24	2150.44	-400.05	2187.33
210	1168.68	-589.64	155.38	-1533.10	3017.09	1831.47	96.62	-67.83	4437.77	-359.10	4452.27
240	310.43	-57.02	975.36	-876.57	311.09	444.32	124.62	-108.69	1721.50	-597.96	1822.39
270	-72.03	-146.11	1419.56	-412.91	46.90	51.39	150.58	-112.78	1545.01	-620.40	1664.92
300	-111.74	-317.56	1977.03	165.00	408.60	-650.70	116.57	-86.02	2390.46	-889.28	2550.51
330	199.53	-1711.98	2846.84	1700.90	1067.44	-762.51	65.79	-92.16	4179.60	-865.75	4268.32
360	474.96	-478.38	312.41	618.16	586.72	214.18	276.40	-36.86	1650.49	317.10	1680.67



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 3, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 3B

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	1287.03	1329.72	-1536.71	804.82	-657.14	1552.35	111.92	838.35	-794.90	4525.24	4594.52
30	1088.60	2240.37	-307.11	92.74	-390.97	557.01	88.44	573.39	478.97	3463.51	3496.47
60	319.26	3679.60	1323.25	1101.98	-155.55	-489.18	19.37	587.86	1506.33	4880.26	5107.44
90	-6091.31	9729.58	2144.10	4820.48	3177.44	-17.01	58.14	359.81	-711.63	14892.85	14909.84
120	-1435.56	1042.85	-109.33	1961.02	1589.59	2351.92	174.13	267.03	218.84	5622.82	5627.08
150	-567.28	130.31	-46.02	241.60	1171.46	3635.40	215.84	318.70	774.00	4326.01	4394.71
180	1160.78	938.10	328.34	-538.43	-267.08	5682.75	206.79	368.31	1428.83	6450.73	6607.07
210	2004.84	3899.05	4861.62	523.90	-5899.15	9777.38	225.27	305.28	1192.58	14505.62	14554.56
240	150.56	982.96	2561.99	2947.05	-1306.49	883.93	343.59	389.72	1749.66	5203.66	5489.94
270	430.14	-240.37	1217.40	4228.94	-131.23	110.29	360.88	471.59	1877.20	4570.45	4940.94
300	938.03	-319.21	-493.74	5982.81	2096.08	1263.37	286.35	377.26	2826.72	7304.23	7832.12
330	5704.31	664.09	-5501.31	9240.15	2598.07	3616.15	300.24	225.28	3101.31	13745.67	14091.19
360	1287.03	1329.72	-1536.71	804.82	-657.14	1552.35	111.92	838.35	-794.90	4525.24	4594.52



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 3, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 3C

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	1159.15	-1241.35	939.40	1689.12	2537.89	553.03	1002.54	-115.59	5638.98	885.20	5708.03
30	2104.62	-1131.45	128.97	120.99	789.23	557.97	767.53	-74.37	3790.35	-526.86	3826.79
60	3502.54	-342.12	1106.56	-1449.93	-177.32	655.68	685.32	5.27	5117.10	-1131.10	5240.62
90	8580.03	5405.01	5363.66	-2445.90	374.91	-2817.12	360.69	-88.38	14679.29	53.61	14679.39
120	935.07	951.13	2644.60	224.58	2112.99	-1479.64	325.18	-280.00	6017.83	-583.93	6046.10
150	258.91	105.73	495.01	268.67	3702.93	-1295.90	578.60	-275.64	5035.46	-1197.14	5175.81
180	1129.67	-1458.00	-59.67	-202.64	5094.72	113.40	746.66	-128.46	6911.38	-1675.70	7111.62
210	3952.78	-2183.17	780.96	-4817.99	8420.74	4886.11	588.92	-151.21	13743.40	-2266.26	13929.00
240	1142.91	-238.38	2593.01	-2117.48	922.85	932.86	610.00	-418.12	5268.77	-1841.11	5581.18
270	293.82	-136.26	4095.88	-1335.69	248.99	-39.43	771.58	-473.92	5410.27	-1985.30	5763.02
300	110.61	-548.64	5555.20	249.89	1269.82	-1963.49	740.84	-355.57	7676.47	-2617.81	8110.56
330	918.87	-3868.15	8226.66	4646.67	3772.70	-2465.54	531.79	-416.52	13450.02	-2103.54	13613.52
360	1159.15	-1241.35	939.40	1689.12	2537.89	553.03	1002.54	-115.59	5638.98	885.20	5708.03

## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 3, Kecepatan 1 m/s

## LAMPIRAN 3D

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	3350.54	3307.44	-4214.83	2444.55	-1649.49	6824.71	349.46	3041.27	-2164.32	15617.97	15767.22
30	3471.95	6276.82	-416.98	378.39	-1759.10	2451.03	232.10	2312.75	1527.97	11418.99	11520.76
60	1110.29	10534.40	4557.64	3362.94	-1740.88	-566.19	13.83	2116.96	3940.88	15448.12	15942.86
90	-17145.50	27484.90	7988.92	17023.10	8612.63	1038.27	274.06	1177.02	-269.89	46723.29	46724.07
120	-2681.96	2661.08	-648.62	7547.79	4223.23	6247.31	828.17	1074.85	1720.81	17531.03	17615.28
150	-309.65	721.61	-928.63	1568.78	3900.13	10848.10	851.82	1766.37	3513.67	14904.86	15313.42
180	4618.00	3448.23	840.25	-268.46	-232.45	15311.00	450.32	2298.89	5676.12	20789.66	21550.60
210	7231.82	12905.10	15744.10	2493.43	-15669.00	27118.70	505.61	1876.42	7812.53	44393.65	45075.85
240	681.90	3607.54	6164.72	7806.39	-2685.43	2630.27	1294.56	1927.78	5455.75	15971.98	16878.07
270	333.47	972.05	4021.93	12246.20	151.44	665.58	1503.82	2400.83	6010.67	16284.65	17358.52
300	1880.00	277.52	-694.89	16782.10	6112.02	3836.30	1170.59	2375.16	8467.72	23271.08	24763.80
330	12708.40	2932.14	-14964.40	26565.90	8154.22	12318.60	1315.82	1766.75	7214.04	43583.39	44176.40
360	3350.54	3307.44	-4214.83	2444.55	-1649.49	6824.71	349.46	3041.27	-2164.32	15617.97	15767.22



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 3, Kecepatan 1.5 m/s

## LAMPIRAN 3E

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	2150.79	-2370.18	1886.06	3294.33	5686.27	1052.87	2175.75	-233.05	11898.87	1743.97	12025.99
30	4118.79	-2318.96	259.16	159.68	1757.75	1267.03	1718.51	-131.67	7854.21	-1023.92	7920.67
60	6938.14	-727.78	2101.35	-2896.07	-222.78	1384.05	1449.35	27.50	10266.06	-2212.30	10501.73
90	16908.90	10596.60	11216.70	-5212.33	1132.60	-5237.70	726.56	-238.92	29984.76	-92.35	29984.90
120	1775.53	1620.14	5555.88	473.83	4293.29	-3247.59	686.04	-613.18	12310.74	-1766.80	12436.88
150	548.69	-79.75	1274.66	728.91	7412.33	-2667.14	1421.28	-478.58	10656.96	-2496.56	10945.49
180	2458.54	-3312.82	297.45	-277.06	9853.68	73.17	1790.86	-137.64	14400.53	-3654.35	14856.97
210	8453.25	-4824.23	1883.68	-8505.32	16444.10	9391.89	1330.76	-336.10	28111.79	-4273.76	28434.80
240	2654.91	-466.08	5049.65	-3985.38	1813.79	1560.53	1375.80	-1008.95	10894.15	-3899.88	11571.15
270	1065.87	-38.37	8044.47	-2771.69	575.14	-323.65	1871.67	-1056.20	11557.15	-4189.91	12293.21
300	707.59	-768.84	10671.60	263.10	2879.63	-4393.14	1878.64	-680.18	16137.46	-5579.07	17074.65
330	2173.00	-6382.06	15997.00	8845.70	8683.90	-5455.45	1377.92	-871.81	28231.82	-3863.62	28494.97
360	2150.79	-2370.18	1886.06	3294.33	5686.27	1052.87	2175.75	-233.05	11898.87	1743.97	12025.99



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 3, Kecepatan 1.5 m/s

LAMPIRAN 3F

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	6438.02	6185.87	-8240.43	4945.47	-3103.36	15352.60	703.03	6600.51	-4202.74	33084.45	33350.32
30	7112.41	12349.10	-574.41	771.37	-3951.05	5494.89	419.52	5179.54	3006.47	23794.90	23984.08
60	2315.58	20901.10	9108.69	6394.53	-3829.40	-687.84	-20.07	4489.21	7574.80	31097.00	32006.27
90	-33654.90	54206.70	17018.20	35578.90	16315.00	3393.98	721.54	2385.26	399.84	95564.84	95565.68
120	-4456.05	5018.17	-1359.87	15948.00	9383.42	12733.30	1833.70	2256.38	5401.20	35955.85	36359.26
150	305.68	1541.19	-2398.09	4028.61	8000.34	21688.40	1482.97	4269.85	7390.90	31528.05	32382.76
180	10426.10	7484.28	1378.79	714.68	-14.08	29546.50	567.80	5549.71	12358.61	43295.17	45024.51
210	15857.30	27379.00	27211.80	5967.06	-30099.80	52844.50	1137.20	4289.56	14106.50	90480.12	91573.17
240	1389.03	8367.07	11624.40	15208.30	-4398.35	5152.34	3104.79	4346.10	11719.87	33073.81	35088.92
270	-47.88	3517.45	8363.02	24004.90	1063.73	1570.70	3317.25	5769.62	12696.12	34862.67	37102.52
300	2808.90	1990.26	-659.10	32118.00	13537.20	8643.20	2222.67	5973.28	17909.67	48724.74	51912.01
330	20907.50	6912.99	-28456.50	51538.60	17827.20	27934.80	2707.39	4522.94	12985.59	90909.33	91832.08
360	6438.02	6185.87	-8240.43	4945.47	-3103.36	15352.60	703.03	6600.51	-4202.74	33084.45	33350.32

## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 3, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 3G

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	3451.05	-3865.75	3149.92	5427.39	10032.70	1706.78	3794.31	-389.24	20427.98	2879.18	20629.88
30	6798.89	-3915.69	433.50	198.01	3091.27	2248.17	3040.06	-201.84	13363.72	-1671.35	13467.83
60	11534.30	-1258.15	3383.00	-4794.33	-275.77	2248.89	2476.88	61.01	17118.41	-3742.58	17522.75
90	28059.90	17507.60	19093.50	-8963.54	2138.83	-8075.86	1188.32	-455.87	50480.55	12.33	50480.55
120	2891.63	2494.68	9390.43	770.16	7214.79	-5621.92	1175.58	-1020.31	20672.43	-3377.39	20946.51
150	921.50	-356.17	2442.49	1361.10	12300.50	-4514.10	2617.71	-709.07	18282.20	-4218.24	18762.52
180	4261.55	-5894.97	942.39	-204.62	16063.90	-73.16	3184.60	-124.98	24452.44	-6297.74	25250.41
210	14683.20	-8444.80	3402.83	-13048.80	27003.30	15383.30	2293.04	-610.71	47382.37	-6721.01	47856.67
240	5000.19	-679.60	8238.75	-6401.27	2958.11	2336.87	2403.15	-1835.14	18600.20	-6579.14	19729.48
270	2157.74	120.97	13316.30	-4714.48	1003.54	-745.56	3462.21	-1788.73	19939.79	-7127.79	21175.47
300	1736.62	-739.00	17407.50	206.67	5145.91	-7791.60	3469.37	-1002.29	27759.40	-9326.22	29284.17
330	3889.71	-9351.38	26201.50	14355.80	15780.60	-9701.10	2501.50	-1427.57	48373.31	-6124.25	48759.45
360	3451.05	-3865.75	3149.92	5427.39	10032.70	1706.78	3794.31	-389.24	20427.98	2879.18	20629.88



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 3, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 3H

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	10544.60	9967.09	-13603.00	8309.69	-4999.28	27145.20	1172.96	11510.70	-6884.72	56932.68	57347.44
30	12006.90	20437.10	-732.49	1301.93	-6982.26	9697.84	652.73	9164.74	4944.89	40601.61	40901.62
60	3991.77	34781.10	15092.10	10297.60	-6340.08	-810.11	-81.29	7685.40	12662.50	51953.99	53474.82
90	-55628.60	89987.70	29256.00	60515.70	25617.80	6555.92	1364.61	3926.82	609.81	160986.14	160987.29
120	-6767.98	8142.79	-2224.75	27053.50	16267.50	21356.70	3058.55	3826.51	10333.32	60379.50	61257.34
150	1217.62	2588.38	-4407.21	7705.03	13450.60	35892.20	2214.26	7836.66	12475.27	54022.27	55444.01
180	18508.30	12936.20	1588.68	2499.28	605.83	47979.10	685.55	9930.09	21388.36	73344.67	76399.62
210	27627.50	47279.20	41501.70	10785.90	-49298.60	86642.50	2062.98	7435.73	21893.58	152143.33	153710.51
240	2059.83	15656.40	18701.20	24805.20	-6451.03	8350.25	5599.34	7570.84	19909.34	56382.69	59794.56
270	-630.57	7104.38	14190.00	39573.60	2423.50	2759.08	5565.14	10611.40	21548.07	60048.46	63797.62
300	3031.12	5025.26	-381.76	52277.50	23826.20	15361.60	3271.14	10992.60	29746.70	83656.96	88788.25
330	30631.30	12360.60	-46182.90	84320.50	31583.40	50538.70	4396.95	8172.85	20428.75	155392.65	156729.73
360	10544.60	9967.09	-13603.00	8309.69	-4999.28	27145.20	1172.96	11510.70	-6884.72	56932.68	57347.44



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 4, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 4A

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	772.1	-757.7	492.6	1050.1	1087.4	344.3	489.2	-62.7	2841.3	574.1	2898.7
30	1276.1	-561.2	49.4	188.3	353.4	140.8	334.7	-52.1	2013.6	-284.3	2033.6
60	2226.6	-186.0	663.6	-770.2	-302.0	131.7	334.7	-11.3	2922.9	-835.8	3040.1
90	5301.1	3393.3	2673.4	-1146.6	59.6	-1784.5	196.2	-38.1	8230.2	424.1	8241.1
120	578.9	812.7	1212.5	50.2	1257.1	-859.1	153.5	-107.5	3202.0	-103.6	3203.7
150	75.0	321.0	155.2	-39.1	2122.2	-600.8	196.8	-131.8	2549.2	-450.7	2588.8
180	591.0	-691.9	-278.7	-147.5	3346.7	138.0	221.1	-126.0	3880.1	-827.3	3967.3
210	2059.9	-992.6	365.1	-3009.7	5171.2	3232.3	180.7	-140.9	7776.9	-910.9	7830.1
240	558.3	-93.1	1605.4	-1437.1	462.3	700.5	232.2	-210.3	2858.2	-1039.9	3041.5
270	-107.2	-282.0	2405.9	-611.5	60.9	59.1	286.5	-215.9	2646.1	-1050.3	2846.9
300	-187.1	-550.3	3555.6	292.2	775.5	-1225.7	224.8	-164.4	4368.9	-1648.2	4669.5
330	210.1	-2865.4	3971.4	2530.6	1679.5	-798.7	110.1	-147.2	5971.2	-1280.7	6107.0
360	772.1	-757.7	492.6	1050.1	1087.4	344.3	489.2	-62.7	2841.3	574.1	2898.7

## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 4, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 4B

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	2476.7	2695.9	-3653.6	1546.3	-1137.1	3934.0	248.1	1980.2	-2065.9	10156.4	10364.4
30	2420.2	5379.6	-780.8	151.7	-551.0	1421.2	198.6	1343.2	1287.1	8295.6	8394.9
60	734.0	8961.1	3187.1	2653.4	-328.2	-1338.7	39.8	1360.3	3632.8	11636.1	12190.0
90	-14230.6	22480.3	5003.2	11321.8	7740.7	151.3	137.7	838.5	-1349.0	34791.9	34818.0
120	-3260.2	2094.6	-20.8	4640.6	2941.9	4509.9	415.3	667.6	76.1	11912.7	11912.9
150	-1331.7	245.4	116.8	623.8	2529.5	8754.5	531.2	794.1	1845.9	10417.8	10580.1
180	2955.5	2424.1	754.2	-1233.9	-517.1	13610.3	547.4	873.3	3739.9	15673.8	16113.8
210	4467.4	9096.5	12656.0	1618.7	-13844.2	22341.1	611.7	717.2	3890.8	33773.5	33996.9
240	440.8	2404.9	5251.1	6117.7	-2791.5	1680.2	860.0	932.7	3760.4	11135.5	11753.3
270	1179.5	-475.9	2477.2	9842.6	-90.1	181.5	873.3	1152.8	4439.9	10701.0	11585.5
300	2244.2	-751.9	-1186.4	14479.9	5143.2	3170.4	698.1	927.4	6899.1	17825.8	19114.3
330	12672.3	863.2	-10847.8	17163.2	3574.9	7421.8	617.4	470.7	6016.8	25918.8	26608.0
360	2476.7	2695.9	-3653.6	1546.3	-1137.1	3934.0	248.1	1980.2	-2065.9	10156.4	10364.4



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 4, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 4C

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	1915.6	-2028.4	1542.7	2847.6	4741.3	921.1	1771.6	-195.8	9971.2	1544.5	10090.1
30	3475.6	-1831.9	178.6	277.2	1490.6	771.3	1350.4	-136.2	6495.3	-919.5	6560.0
60	6303.3	-646.5	2011.8	-2638.1	-341.9	1101.5	1204.4	-4.8	9177.6	-2188.0	9434.8
90	15297.7	9590.3	9502.0	-4328.3	718.5	-4984.8	657.1	-174.6	26175.3	102.7	26175.5
120	1620.6	1662.0	4901.6	379.1	3575.3	-2459.2	621.4	-498.9	10718.9	-917.0	10758.0
150	354.3	263.9	955.2	337.1	6306.1	-2134.9	1078.0	-510.4	8693.5	-2044.2	8930.6
180	2040.3	-2672.2	-158.9	-449.0	8761.9	51.3	1371.5	-263.6	12014.6	-3333.6	12468.5
210	6964.2	-3822.6	1453.9	-8808.3	14976.0	8733.2	1084.8	-298.7	24478.9	-4196.4	24836.0
240	2178.4	-432.2	4459.7	-3564.0	1578.5	1647.3	1118.6	-761.6	9335.2	-3110.5	9839.8
270	604.2	-314.8	6978.0	-2188.9	337.9	-28.9	1422.0	-870.9	9342.1	-3403.4	9942.8
300	-178.9	-684.4	7040.0	-429.2	2178.9	-3060.8	1134.4	-516.6	10174.4	-4691.0	11203.7
330	610.6	-5839.2	12461.0	8120.9	6408.3	-3227.8	900.0	-533.3	20379.9	-1479.4	20433.5
360	1915.6	-2028.4	1542.7	2847.6	4741.3	921.1	1771.6	-195.8	9971.2	1544.5	10090.1



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 4, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 4D

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	6818.7	6813.3	-9637.8	4737.6	-3058.0	17500.4	761.9	7177.9	-5115.2	36229.2	36588.5
30	7861.7	14748.0	-1201.4	628.0	-3025.7	5946.6	504.0	5436.6	4138.6	26759.1	27077.3
60	2590.4	25079.3	10841.8	8061.9	-3815.7	-1653.8	22.4	4953.3	9638.9	36440.7	37693.9
90	-40432.3	65122.4	18874.3	40177.5	20790.2	2722.3	679.6	2850.1	-88.2	110872.4	110872.4
120	-6375.2	5768.5	-1091.4	19155.9	8427.2	13354.7	1989.5	2706.6	2950.1	40985.7	41091.7
150	-902.7	1361.0	-1453.8	3759.3	9157.2	26811.5	2078.2	4300.8	8878.9	36232.6	37304.6
180	11078.6	8246.9	2424.2	-1008.7	-147.0	35643.9	1097.2	5499.7	14453.0	48381.8	50494.5
210	16890.1	30293.3	38077.5	6028.8	-37239.4	64347.5	1121.8	4523.1	18850.0	105192.7	106868.3
240	1903.0	9441.8	12732.7	16897.6	-6381.2	5722.0	2943.6	4642.8	11198.1	36704.3	38374.5
270	1229.6	2393.3	9322.7	29456.1	386.6	1269.1	3498.7	5745.2	14437.5	38863.7	41458.7
300	3303.5	-1174.5	1709.3	28123.7	12547.4	8721.3	2156.6	4613.7	19716.8	40284.2	44850.5
330	25357.8	2323.8	-34516.1	53551.6	14139.5	27650.7	2118.6	3741.2	7099.8	87267.2	87555.6
360	6818.7	6813.3	-9637.8	4737.6	-3058.0	17500.4	761.9	7177.9	-5115.2	36229.2	36588.5

## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 4, Kecepatan 1.5 m/s

## LAMPIRAN 4E

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	3595.4	-3906.2	3120.2	5523.9	10609.4	1766.5	3842.0	-394.6	21166.9	2989.6	21377.0
30	6744.4	-3792.8	359.3	401.4	3270.3	1851.2	3023.4	-241.4	13397.4	-1781.7	13515.4
60	12475.0	-1345.4	3869.3	-5325.7	-442.3	2252.4	2548.1	22.8	18450.1	-4395.9	18966.6
90	30154.7	18800.7	19870.4	-9229.9	2056.2	-8893.7	1324.6	-458.8	53405.9	218.4	53406.3
120	3115.8	2832.0	10338.8	801.4	7283.3	-5419.3	1309.6	-1110.9	22047.4	-2896.8	22236.9
150	734.7	28.3	2396.7	1054.1	12589.0	-4414.3	2590.9	-902.1	18311.2	-4234.0	18794.3
180	4444.6	-6076.2	415.3	-663.0	16908.1	-141.4	3239.7	-307.8	25007.7	-7188.3	26020.4
210	14795.0	-8413.8	3450.3	-15593.4	29285.6	16814.8	2441.0	-644.0	49971.8	-7836.5	50582.6
240	4943.6	-823.7	8652.5	-6678.0	3148.4	2779.1	2517.7	-1819.1	19262.2	-6541.6	20342.7
270	1993.4	-198.7	13726.0	-4591.1	766.4	-415.8	3420.3	-1927.2	19906.1	-7132.7	21145.4
300	369.3	-852.3	12967.1	-1213.3	4810.2	-6783.5	2742.9	-918.4	20889.5	-9767.4	23060.2
330	1529.8	-9886.4	25167.1	16256.6	14838.1	-7553.9	2116.2	-1015.5	43651.2	-2199.2	43706.6
360	3595.4	-3906.2	3120.2	5523.9	10609.4	1766.5	3842.0	-394.6	21166.9	2989.6	21377.0



## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 4 Kecepatan 1.5 m/s

LAMPIRAN 4F

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	13311.1	12925.6	-18613.5	9611.0	-5882.7	39398.1	1525.2	15568.2	-9659.9	77502.9	78102.5
30	16263.5	28556.7	-1795.6	1299.0	-7287.0	13178.0	885.3	12185.8	8066.2	55219.5	55805.6
60	5448.4	49436.2	21880.9	15508.2	-8021.0	-2212.9	-56.8	10531.1	19251.5	73262.6	75749.8
90	-79387.6	128506.0	40199.3	83941.8	37421.3	8114.7	1810.5	5792.6	43.5	226355.1	226355.1
120	-10610.0	11012.1	-2500.1	40729.8	18787.2	27160.1	4485.4	5647.0	10162.5	84549.0	85157.6
150	367.1	2870.0	-4438.3	9469.9	18873.9	53233.4	3602.6	10221.0	18405.3	75794.3	77997.0
180	25074.0	17917.6	4246.1	799.0	754.2	68502.8	1292.9	13169.1	31367.2	100388.5	105174.8
210	36942.1	63956.4	66386.6	14145.6	-71686.5	125620.0	2515.9	10367.2	34158.1	214089.2	216797.1
240	3656.8	21109.5	23705.2	32794.1	-10577.4	11373.3	7220.5	10491.5	24005.1	75768.4	79480.2
270	692.7	8205.5	19632.0	57907.9	2347.7	2990.2	7840.5	13807.1	30512.9	82910.7	88347.2
300	4582.9	598.3	4901.0	51347.0	27542.6	19098.9	3852.2	11209.0	40878.7	82253.2	91851.3
330	42982.1	5908.0	-69209.3	108310.0	32842.2	63424.4	3981.2	8846.0	10596.2	186488.4	186789.2
360	13311.1	12925.6	-18613.5	9611.0	-5882.7	39398.1	1525.2	15568.2	-9659.9	77502.9	78102.5



## V-STRAIGHT

Nilai Gaya Dimensi 4, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 4G

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	5807.8	-6393.6	5227.8	9081.0	18714.0	2883.7	6696.4	-658.6	36445.9	4912.5	36775.5
30	11086.0	-6433.4	601.9	541.4	5705.5	3356.0	5348.2	-370.7	22741.6	-2906.7	22926.6
60	20771.3	-2279.5	6275.7	-8866.2	-554.9	3585.7	4354.7	68.7	30846.8	-7491.3	31743.4
90	50055.0	31061.3	33829.7	-15881.6	3813.0	-13430.1	2164.7	-867.6	89862.4	882.0	89866.8
120	5101.7	4334.6	17517.3	1311.2	12209.1	-9369.3	2230.4	-1875.2	37058.5	-5598.7	37479.0
150	1212.6	-344.2	4532.4	2040.2	20780.8	-7431.3	4713.5	-1342.0	31239.3	-7077.4	32031.0
180	7719.8	-10789.2	1457.5	-740.3	27653.6	-473.2	5745.4	-314.6	42576.3	-12317.4	44322.2
210	25671.1	-14750.7	6199.1	-23993.6	48236.4	27527.1	4195.1	-1167.0	84301.7	-12384.2	85206.5
240	9260.9	-1186.3	14114.1	-10666.7	5199.1	4210.4	4383.9	-3317.5	32958.0	-10960.1	34732.6
270	3940.5	-5.8	22596.4	-7758.2	1325.0	-1033.9	6305.5	-3274.7	34167.5	-12072.6	36237.6
300	3061.9	-1435.2	30400.3	130.7	9241.2	-14197.8	6362.5	-1846.4	49065.8	-17348.7	52042.6
330	3349.1	-14781.4	38717.3	23499.6	24573.0	-12979.4	3510.5	-2020.9	70149.9	-6282.1	70430.6
360	5807.8	-6393.6	5227.8	9081.0	18714.0	2883.7	6696.4	-658.6	36445.9	4912.5	36775.5

## V-STRAIGHT

Nilai Torsi Dimensi 4, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 4H

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	21951.7	20996.5	-30539.0	16134.8	-9605.6	69667.3	2536.8	27139.8	-15656.2	133938.4	134850.3
30	27572.3	46891.4	-2470.7	2205.3	-13242.6	23103.5	1351.0	21571.6	13210.0	93771.8	94697.7
60	9267.7	82242.5	36452.7	25145.3	-12967.3	-2820.3	-195.9	18046.7	32557.3	122614.2	126863.0
90	-131250.0	213426.0	69108.9	142826.0	57190.5	15282.6	3438.7	9519.2	-1511.9	381053.8	381056.8
120	-16016.7	17946.9	-4197.5	69329.3	32704.4	45529.8	7564.6	9491.0	20054.8	142297.0	143703.3
150	2286.1	4783.1	-8568.3	17976.6	31725.7	87642.0	5292.7	18567.5	30736.2	128969.2	132581.2
180	44391.5	31033.3	5911.5	4251.6	2302.8	111599.0	1445.2	23587.0	54051.0	170470.9	178834.7
210	64505.5	110422.0	101725.0	25387.0	-117309.0	206625.0	4669.5	17971.7	53591.0	360405.7	364368.3
240	5367.1	39048.2	37800.7	53525.0	-15792.3	18701.3	13253.1	18246.8	40628.6	129521.3	135744.1
270	-168.8	16354.7	33243.3	95311.1	5377.7	5240.2	13312.2	25412.0	51764.4	142318.0	151439.6
300	8122.0	11057.3	-358.3	123447.0	57443.1	36674.9	7789.1	26443.4	72995.9	197622.6	210673.0
330	64294.8	13227.6	-101046.0	167065.0	56313.1	105090.0	7833.1	14855.9	27395.0	300238.5	301485.7
360	21951.7	20996.5	-30539.0	16134.8	-9605.6	69667.3	2536.8	27139.8	-15656.2	133938.4	134850.3



# V-HELICAL

Nilai Gaya Dimensi 1, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 5A

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	63.98	12.21	100.16	-32.77	36.68	3.84	17.34	-3.35	218.16	-20.07	219.08
30	39.89	12.66	106.92	-24.78	36.13	-5.86	14.33	-3.87	197.28	-21.85	198.49
60	42.13	9.87	116.72	-17.65	45.26	-12.56	13.76	-4.28	217.87	-24.62	219.26
90	35.01	-1.86	125.20	-1.53	81.88	-22.57	13.06	-4.97	255.15	-30.93	257.01
120	18.76	-20.59	74.20	8.74	93.46	-28.37	13.24	-6.28	199.67	-46.51	205.01
150	17.64	-24.41	43.09	7.84	97.13	-18.79	13.83	-8.12	171.69	-43.48	177.11
180	29.11	-32.54	40.44	0.20	107.37	-10.80	13.70	-9.93	190.62	-53.06	197.87
210	68.98	-42.94	21.58	-20.99	113.19	-6.27	13.69	-11.47	217.45	-81.66	232.27
240	90.71	-36.86	5.97	-30.48	69.69	8.37	17.00	-10.32	183.37	-69.28	196.02
270	94.97	-23.95	3.80	-28.39	43.41	8.93	17.57	-8.67	159.76	-52.08	168.04
300	102.55	-14.28	10.76	-38.88	45.01	7.63	17.80	-6.76	176.12	-52.29	183.72
330	106.72	1.97	61.34	-47.50	48.50	8.22	17.62	-4.98	234.18	-42.29	237.96
360	63.98	12.21	100.16	-32.77	36.68	3.84	17.34	-3.35	218.16	-20.07	219.08



Nilai Torsi Dimensi 1, Kecepatan 0.5 m/s

## LAMPIRAN 5B

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-4.29	54.81	28.69	122.38	0.64	29.35	3.26	16.30	28.30	222.84	224.63
30	0.64	31.93	15.37	128.10	6.93	29.53	3.88	13.24	26.82	202.81	204.58
60	2.08	32.03	8.06	132.27	17.03	45.07	4.44	12.58	31.62	221.95	224.19
90	16.63	24.18	2.34	133.75	24.15	102.70	5.18	11.63	48.29	272.26	276.51
120	26.49	11.53	-1.51	63.05	22.92	118.03	6.84	11.30	54.74	203.91	211.13
150	28.66	11.99	5.08	33.10	8.39	119.48	9.08	11.52	51.21	176.09	183.38
180	39.08	30.80	11.98	27.85	1.83	122.59	10.97	11.62	63.85	192.86	203.16
210	44.48	91.68	37.57	8.99	7.96	119.54	12.07	11.81	102.09	232.03	253.49
240	29.22	116.90	38.35	-4.73	3.34	57.57	10.82	15.10	81.72	184.84	202.10
270	12.14	119.19	34.97	-7.22	8.76	33.25	9.29	15.84	65.16	161.06	173.75
300	2.22	120.34	48.72	4.89	8.27	35.34	7.29	16.45	66.49	177.01	189.09
330	-3.70	115.15	55.32	80.22	5.96	38.98	5.01	16.47	62.59	250.81	258.51
360	-4.29	54.81	28.69	122.38	0.64	29.35	3.26	16.30	28.30	222.84	224.63

# V-HELICAL

Nilai Gaya Dimensi 1, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 5C

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	182.38	16.59	285.66	-83.18	138.20	7.72	65.39	-8.28	671.63	-67.16	674.98
30	117.35	18.15	296.78	-70.72	130.68	-8.05	56.34	-9.36	601.15	-69.99	605.21
60	133.79	7.72	322.49	-56.53	154.36	-23.28	54.99	-12.71	665.62	-84.80	671.00
90	123.49	-26.91	341.25	-27.13	270.56	-69.21	55.09	-18.01	790.38	-141.26	802.90
120	84.88	-64.19	208.67	-3.29	298.04	-85.20	59.15	-24.05	650.75	-176.73	674.32
150	80.17	-65.33	125.13	-4.21	304.03	-72.07	64.51	-31.22	573.83	-172.83	599.29
180	112.43	-83.99	131.54	-24.97	331.97	-56.63	68.20	-38.85	644.15	-204.44	675.81
210	231.98	-114.02	107.37	-73.66	349.71	-57.06	72.81	-44.07	761.87	-288.82	814.77
240	282.24	-97.26	69.69	-82.12	211.20	-2.59	81.40	-37.54	644.53	-219.51	680.88
270	286.90	-69.91	58.61	-70.87	130.13	-0.26	80.37	-30.97	556.02	-172.01	582.01
300	307.03	-47.97	80.33	-94.30	142.98	-3.66	76.71	-24.55	607.05	-170.48	630.53
330	316.61	-11.59	203.50	-115.22	167.94	-2.72	71.23	-17.13	759.28	-146.65	773.31
360	182.38	16.59	285.66	-83.18	138.20	7.72	65.39	-8.28	671.63	-67.16	674.98



Nilai Torsi Dimensi 1, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 5D

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	8.03	159.21	74.31	342.52	1.11	117.47	7.89	61.18	91.34	680.38	686.49
30	20.06	97.20	47.92	354.20	7.49	108.67	9.35	50.64	84.82	610.72	616.58
60	24.59	107.99	33.86	364.87	29.86	146.94	12.31	47.91	100.63	667.70	675.24
90	64.47	94.62	32.69	364.47	65.88	319.74	16.29	46.18	179.32	825.01	844.28
120	75.11	63.42	27.12	180.30	63.42	360.41	22.29	47.30	187.93	651.43	677.99
150	74.33	59.81	41.68	100.79	38.08	361.54	29.83	50.98	183.92	573.12	601.91
180	100.44	109.59	57.63	100.18	25.08	370.54	36.86	56.06	220.00	636.37	673.33
210	121.96	289.98	115.04	71.65	59.13	369.78	40.29	61.61	336.42	793.02	861.43
240	80.94	353.34	97.34	34.21	38.35	183.67	35.36	70.75	251.99	641.96	689.65
270	41.50	354.04	84.09	20.10	51.72	108.55	30.73	71.34	208.04	554.02	591.80
300	19.44	356.07	119.36	56.89	47.65	123.19	24.33	70.55	210.77	606.70	642.27
330	14.31	343.11	135.58	247.00	41.19	146.15	15.63	66.73	206.70	802.99	829.17
360	8.03	159.21	74.31	342.52	1.11	117.47	7.89	61.18	91.34	680.38	686.49



Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	357.15	21.18	568.01	-162.24	293.90	13.40	143.79	-14.80	1362.85	-142.47	1370.28
30	233.24	25.20	583.50	-145.86	275.56	-8.99	125.85	-17.73	1218.15	-147.39	1227.03
60	272.20	1.98	633.02	-122.25	323.90	-43.40	124.03	-26.97	1353.15	-190.64	1366.51
90	263.64	-64.08	670.82	-78.35	557.15	-134.33	126.96	-38.64	1618.57	-315.39	1649.01
120	194.48	-124.61	412.64	-29.09	609.02	-168.19	138.17	-48.90	1354.31	-370.79	1404.15
150	184.11	-120.64	253.13	-30.45	616.50	-152.29	150.85	-62.15	1204.58	-365.53	1258.82
180	248.03	-151.27	278.07	-72.57	668.45	-128.88	160.49	-77.57	1355.03	-430.29	1421.71
210	484.26	-208.26	252.27	-157.05	702.32	-133.19	172.88	-87.38	1611.74	-585.88	1714.92
240	568.61	-179.66	180.39	-158.68	424.68	-29.63	188.05	-73.26	1361.73	-441.24	1431.44
270	570.69	-135.48	153.72	-131.43	260.79	-22.05	183.15	-62.31	1168.35	-351.26	1220.01
300	609.78	-95.62	195.39	-170.50	291.91	-27.36	173.13	-51.43	1270.21	-344.92	1316.21
330	626.95	-32.15	428.66	-215.05	350.45	-23.60	159.23	-35.33	1565.29	-306.14	1594.95
360	357.15	21.18	568.01	-162.24	293.90	13.40	143.79	-14.80	1362.85	-142.47	1370.28

Nilai Torsi Dimensi 1, Kecepatan 1.5 m/s

LAMPIRAN 5F

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	29.22	312.93	144.06	674.70	1.62	254.11	13.71	134.14	188.62	1375.89	29.22
30	50.89	194.95	101.44	693.84	5.11	230.67	17.14	112.25	174.58	1231.71	50.89
60	61.22	223.34	78.91	714.03	52.15	305.03	24.51	107.33	216.79	1349.72	61.22
90	135.13	208.22	92.40	715.56	129.68	649.80	32.23	106.10	389.45	1679.68	135.13
120	141.89	151.40	81.58	361.07	128.50	727.82	41.84	110.25	393.82	1350.53	141.89
150	134.86	140.48	108.47	210.51	89.77	727.00	55.70	118.98	388.80	1196.97	134.86
180	183.48	234.39	138.68	221.45	70.63	743.09	69.55	131.97	462.34	1330.89	183.48
210	229.50	589.89	234.00	185.01	144.39	746.24	75.67	146.21	683.56	1667.35	229.50
240	155.29	702.56	180.39	108.71	103.76	375.54	66.61	162.47	506.05	1349.28	155.29
270	87.48	699.02	149.67	73.36	126.82	225.01	60.30	161.88	424.28	1159.26	87.48
300	48.08	702.62	213.74	144.77	115.72	260.66	49.07	159.38	426.60	1267.43	48.08
330	44.54	678.93	248.50	507.24	99.64	313.58	30.69	149.44	423.37	1649.19	44.54
360	29.22	312.93	144.06	674.70	1.62	254.11	13.71	134.14	188.62	1375.89	29.22



Nilai Gaya Dimensi 1, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 5G

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	588.27	25.18	946.16	-269.22	504.21	21.33	252.46	-23.21	2291.10	-245.92	2304.26
30	388.34	32.90	965.98	-249.16	470.45	-8.86	222.64	-29.44	2047.41	-254.55	2063.17
60	458.28	-8.16	1047.32	-213.37	553.83	-67.45	220.88	-46.84	2280.31	-335.82	2304.90
90	459.23	-111.45	1111.43	-151.65	940.07	-216.00	228.69	-65.93	2739.42	-545.03	2793.12
120	351.17	-199.18	685.98	-66.66	1023.85	-275.05	250.10	-80.69	2311.10	-621.59	2393.23
150	332.82	-186.48	425.73	-68.28	1031.22	-257.30	272.59	-102.12	2062.35	-614.19	2151.87
180	439.12	-231.66	477.89	-138.51	1114.15	-223.95	290.66	-127.96	2321.82	-722.08	2431.51
210	829.38	-324.93	455.56	-264.96	1168.80	-234.26	313.80	-143.34	2767.53	-967.49	2931.77
240	949.81	-285.79	337.88	-255.28	709.43	-68.87	336.78	-119.99	2333.90	-729.94	2445.39
270	946.38	-222.61	288.93	-205.52	435.27	-53.30	325.93	-104.67	1996.50	-586.10	2080.75
300	1010.58	-160.28	357.37	-264.31	492.44	-60.71	307.07	-88.03	2167.47	-573.33	2242.01
330	1037.55	-62.27	736.59	-343.42	597.15	-51.92	281.48	-59.24	2652.77	-516.85	2702.65
360	588.27	25.18	946.16	-269.22	504.21	21.33	252.46	-23.21	2291.10	-245.92	2304.26



Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	60.50	516.73	237.75	1117.50	1.43	440.05	21.18	235.25	320.86	2309.53	2331.71
30	94.55	326.50	175.34	1145.60	-0.46	395.13	27.95	198.07	297.38	2065.29	2086.59
60	113.62	379.34	142.02	1178.45	79.70	519.60	41.29	191.29	376.64	2268.68	2299.73
90	226.12	369.02	177.89	1183.90	212.17	1089.82	52.96	192.06	669.14	2834.80	2912.70
120	222.98	278.80	159.10	604.89	214.71	1216.11	66.69	200.86	663.48	2300.66	2394.42
150	205.37	256.83	202.55	360.87	160.26	1211.34	89.49	216.49	657.67	2045.53	2148.66
180	284.01	408.44	250.89	390.17	133.99	1236.83	112.46	240.95	781.35	2276.40	2406.76
210	363.31	994.78	387.89	349.73	261.24	1244.80	121.48	266.93	1133.92	2856.24	3073.08
240	252.19	1164.62	282.81	220.23	196.16	632.47	107.89	291.29	839.06	2308.61	2456.35
270	150.63	1154.32	227.28	153.97	231.26	382.17	100.31	288.41	709.47	1978.87	2102.21
300	89.64	1159.93	328.22	271.67	210.03	447.64	82.22	283.54	710.11	2162.78	2276.37
330	88.61	1122.66	390.81	861.36	179.12	541.97	49.94	264.68	708.49	2790.66	2879.19
360	60.50	516.73	237.75	1117.50	1.43	440.05	21.18	235.25	320.86	2309.53	2331.71

# V-HELICAL

Nilai Gaya Dimensi 2, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 6A

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	238.79	48.03	379.27	-126.85	145.19	21.35	70.97	-14.55	834.23	-72.03	837.33
30	154.36	51.26	405.60	-104.34	139.86	-17.45	58.52	-15.25	758.34	-85.78	763.18
60	168.36	43.66	445.32	-71.91	180.23	-43.68	54.92	-15.47	848.83	-87.40	853.32
90	144.33	-1.28	478.33	-4.11	324.71	-88.50	50.80	-17.20	998.16	-111.09	1004.33
120	82.51	-73.71	277.64	41.09	366.97	-110.83	50.28	-22.73	777.40	-166.18	794.96
150	71.68	-89.68	163.31	34.09	379.28	-84.12	52.38	-29.88	666.64	-169.59	687.88
180	118.25	-117.17	165.01	8.27	426.98	-47.01	52.45	-38.03	762.69	-193.94	786.96
210	273.17	-163.13	96.14	-78.40	445.83	-22.01	53.98	-45.84	869.12	-309.38	922.54
240	342.58	-147.78	31.77	-113.56	268.33	42.25	68.44	-42.45	711.12	-261.53	757.69
270	358.35	-101.84	25.33	-109.36	165.06	42.08	71.92	-35.54	620.65	-204.66	653.53
300	396.57	-60.97	52.85	-148.46	177.92	39.18	73.15	-28.19	700.49	-198.45	728.06
330	412.07	3.51	241.38	-185.19	190.18	34.62	72.71	-21.16	916.35	-168.22	931.66
360	238.79	48.03	379.27	-126.85	145.19	21.35	70.97	-14.55	834.23	-72.03	837.33



Nilai Torsi Dimensi 2, Kecepatan 0.5 m/s

## LAMPIRAN 6B

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-32.72	398.60	217.82	930.14	-10.86	225.25	28.71	134.08	202.95	1688.06	1700.22
30	2.84	241.28	130.94	975.38	39.95	212.18	30.63	109.08	204.36	1537.92	1551.44
60	5.63	260.17	70.12	1016.03	114.96	350.33	31.34	100.93	222.05	1727.46	1741.68
90	116.51	207.49	15.95	1025.83	177.40	805.24	34.07	90.19	343.94	2128.75	2156.36
120	191.86	108.65	-23.67	466.10	163.51	918.70	46.99	85.06	378.68	1578.51	1623.29
150	213.14	89.19	34.34	246.98	73.74	925.71	64.65	87.07	385.87	1348.94	1403.04
180	283.64	243.31	77.17	229.29	13.92	972.71	82.46	90.07	457.19	1535.38	1602.00
210	332.89	718.61	288.80	92.31	45.28	936.14	96.72	96.62	763.69	1843.68	1995.59
240	231.79	877.45	290.76	-25.64	1.83	432.99	89.88	126.07	614.27	1410.88	1538.80
270	105.83	889.54	272.30	-45.53	52.22	242.26	77.97	134.54	508.32	1220.82	1322.42
300	24.32	929.57	371.29	55.01	42.83	273.10	63.00	139.16	501.45	1396.84	1484.12
330	-24.43	887.61	431.65	630.10	39.41	298.28	44.55	138.44	491.18	1954.44	2015.22
360	-32.72	398.60	217.82	930.14	-10.86	225.25	28.71	134.08	202.95	1688.06	1700.22



# V-HELICAL

Nilai Gaya Dimensi 2, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 6C

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	681.12	66.47	1115.93	-335.38	553.94	41.17	262.07	-33.45	2613.06	-261.19	2626.08
30	455.90	76.80	1162.70	-305.57	518.76	-22.13	223.64	-34.81	2361.00	-285.72	2378.23
60	537.36	41.80	1262.19	-238.44	625.58	-80.31	212.55	-46.04	2637.68	-322.98	2657.38
90	508.12	-104.18	1329.83	-113.17	1080.50	-269.56	206.82	-64.54	3125.27	-551.45	3173.54
120	355.56	-249.75	787.88	8.13	1168.44	-331.55	220.02	-88.18	2531.90	-661.34	2616.85
150	321.33	-254.87	477.41	0.44	1190.47	-299.24	239.55	-112.12	2228.76	-665.79	2326.08
180	454.92	-316.16	522.58	-78.46	1316.84	-227.38	250.77	-138.37	2545.12	-760.37	2656.27
210	915.90	-441.34	427.55	-292.48	1379.37	-216.75	268.78	-157.04	2991.59	-1107.62	3190.05
240	1070.92	-381.51	274.76	-319.26	816.44	12.42	309.02	-134.67	2471.15	-823.02	2604.60
270	1095.74	-283.39	243.06	-285.87	500.93	18.63	311.12	-110.70	2150.85	-661.33	2250.22
300	1189.65	-195.03	334.95	-375.99	571.28	8.72	301.69	-91.12	2397.57	-653.42	2485.01
330	1226.06	-52.75	817.06	-472.38	672.53	-4.75	283.64	-65.74	2999.29	-595.62	3057.86
360	681.12	66.47	1115.93	-335.38	553.94	41.17	262.07	-33.45	2613.06	-261.19	2626.08

**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 2, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 6D

Azimuth	Torsi (Nm)											Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
0	66.70	1171.66	582.59	2671.86	-10.92	927.10	65.96	497.95	704.33	5268.57	5315.44	
30	149.31	738.63	414.74	2765.67	41.03	833.97	70.42	411.71	675.50	4749.98	4797.77	
60	164.56	882.03	293.68	2855.67	201.64	1190.13	87.28	378.33	747.17	5306.16	5358.51	
90	516.56	792.91	264.14	2837.32	496.41	2550.42	111.85	349.74	1388.96	6530.40	6676.48	
120	592.32	541.18	174.63	1341.54	464.88	2824.41	154.35	350.13	1386.19	5057.26	5243.80	
150	588.94	456.60	294.43	751.27	305.08	2829.11	202.26	372.52	1390.70	4409.50	4623.60	
180	761.66	878.88	414.79	788.16	192.08	2942.29	249.90	402.12	1618.43	5011.45	5266.31	
210	950.18	2281.08	929.66	568.06	437.51	2906.28	274.36	445.35	2591.72	6200.77	6720.60	
240	629.38	2684.54	778.57	256.97	252.91	1395.02	243.69	531.96	1904.55	4868.49	5227.76	
270	340.84	2687.94	696.72	162.88	367.49	803.81	214.69	549.65	1619.73	4204.29	4505.51	
300	166.00	2772.51	958.28	482.29	325.77	962.54	179.07	555.02	1629.12	4772.36	5042.76	
330	131.46	2665.40	1103.79	1976.04	314.75	1156.73	121.12	535.36	1671.12	6333.53	6550.29	
360	66.70	1171.66	582.59	2671.86	-10.92	927.10	65.96	497.95	704.33	5268.57	5315.44	



**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 2, Kecepatan 1.5 m/s

**LAMPIRAN 6E**

Azimuth	Gaya / Force (N)											Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
0	1339.41	89.54	2235.34	-665.08	1182.36	70.63	573.93	-59.53	5331.04	-564.45	5360.84	
30	906.19	109.93	2305.43	-633.56	1101.25	-21.29	497.01	-66.81	4809.89	-611.74	4848.64	
60	1084.87	23.47	2493.34	-519.64	1321.91	-148.29	478.65	-99.20	5378.78	-743.66	5429.94	
90	1083.65	-244.53	2624.13	-325.99	2230.81	-515.37	479.67	-140.96	6418.26	-1226.84	6534.46	
120	807.14	-476.01	1564.50	-73.95	2394.14	-648.64	521.39	-182.12	5287.18	-1380.72	5464.49	
150	739.81	-460.02	967.76	-83.60	2423.70	-617.95	570.22	-224.47	4701.50	-1386.04	4901.55	
180	1013.17	-561.58	1093.48	-246.99	2657.67	-504.41	602.74	-276.71	5367.06	-1589.68	5597.53	
210	1933.25	-801.64	994.11	-608.96	2776.55	-505.98	651.07	-311.90	6354.97	-2228.48	6734.37	
240	2179.08	-704.31	705.05	-603.37	1650.38	-74.89	723.17	-264.01	5257.68	-1646.58	5509.49	
270	2205.55	-551.54	629.26	-517.74	1009.04	-47.47	714.73	-225.31	4558.58	-1342.06	4752.03	
300	2379.43	-395.49	813.35	-673.37	1171.21	-63.70	682.56	-192.16	5046.55	-1324.72	5217.53	
330	2438.55	-146.28	1734.26	-877.17	1411.26	-81.43	632.61	-134.10	6216.67	-1238.99	6338.93	
360	1339.41	89.54	2235.34	-665.08	1182.36	70.63	573.93	-59.53	5331.04	-564.45	5360.84	



**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 2, Kecepatan 1.5 m/s

LAMPIRAN 6F

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	230.68	2327.42	1148.09	5296.23	-10.01	2017.30	115.50	1089.00	1484.26	10729.95	10832.12
30	384.08	1482.83	880.27	5451.93	22.13	1793.45	131.93	908.83	1418.40	9637.05	9740.87
60	444.42	1799.16	681.80	5612.44	354.26	2501.36	179.14	847.62	1659.61	10760.58	10887.81
90	1067.97	1731.59	742.84	5581.43	981.40	5209.44	229.14	812.15	3021.36	13334.61	13672.61
120	1091.28	1266.93	561.67	2695.03	948.23	5728.01	297.84	835.26	2899.01	10525.23	10917.18
150	1035.37	1084.05	777.10	1567.88	704.28	5717.62	383.24	893.43	2899.99	9262.98	9706.32
180	1364.38	1913.46	1012.67	1716.48	535.67	5917.07	475.39	975.60	3388.10	10522.61	11054.62
210	1757.32	4696.69	1839.37	1452.06	1091.96	5878.29	516.02	1083.65	5204.66	13110.69	14105.98
240	1198.01	5397.72	1398.57	827.52	730.24	2870.23	460.74	1237.92	3787.56	10333.39	11005.66
270	716.85	5376.44	1203.55	598.40	923.13	1675.79	426.04	1254.69	3269.57	8905.32	9486.56
300	411.63	5519.00	1689.57	1238.64	822.58	2043.83	362.85	1254.89	3286.62	10056.34	10579.79
330	395.48	5301.96	1994.23	4096.69	774.49	2497.00	235.04	1195.39	3399.24	13091.04	13525.17
360	230.68	2327.42	1148.09	5296.23	-10.01	2017.30	115.50	1089.00	1484.26	10729.95	10832.12

**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 2, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 6G

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	2216.98	114.50	3730.51	-1107.52	2030.47	112.67	1005.98	-93.37	8983.94	-973.73	9036.56
30	1508.88	148.27	3826.38	-1078.50	1887.20	-12.59	878.35	-111.10	8100.81	-1053.92	8169.08
60	1816.66	-9.78	4132.05	-904.03	2269.88	-229.00	853.50	-172.99	9072.09	-1315.80	9167.02
90	1882.05	-417.03	4351.33	-624.70	3779.34	-831.50	869.37	-242.38	10882.10	-2115.61	11085.84
120	1448.41	-744.79	2606.34	-197.22	4039.99	-1066.93	952.67	-302.50	9047.41	-2311.43	9338.00
150	1336.67	-694.13	1630.13	-208.36	4073.46	-1044.16	1042.67	-370.52	8082.94	-2317.17	8408.52
180	1798.97	-849.04	1873.12	-483.06	4443.48	-879.18	1106.71	-459.90	9222.28	-2671.18	9601.34
210	3329.28	-1243.76	1794.39	-1017.24	4630.46	-900.17	1197.72	-516.01	10951.85	-3677.19	11552.69
240	3665.83	-1119.72	1323.54	-960.02	2759.93	-206.61	1307.82	-437.93	9057.13	-2724.30	9457.98
270	3686.06	-911.01	1184.29	-800.07	1685.37	-147.10	1280.89	-384.08	7836.61	-2242.26	8151.08
300	3963.98	-669.69	1491.12	-1039.68	1976.50	-169.69	1214.16	-330.66	8645.77	-2209.72	8923.68
330	4051.07	-279.28	2988.05	-1392.73	2407.30	-185.55	1118.21	-223.73	10564.62	-2081.30	10767.69
360	2216.98	114.50	3730.51	-1107.52	2030.47	112.67	1005.98	-93.37	8983.94	-973.73	9036.56



**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 2, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 6H

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	467.08	3874.52	1902.22	8789.34	-21.33	3499.91	178.92	1906.33	2526.90	18070.09	18245.92
30	714.81	2484.41	1512.84	9019.60	-28.68	3094.48	216.09	1600.95	2415.05	16199.44	16378.48
60	842.90	3027.54	1215.25	9272.45	544.45	4288.50	304.96	1512.83	2907.57	18101.32	18333.35
90	1757.67	3048.29	1417.97	9237.93	1620.28	8778.41	382.47	1482.95	5178.39	22547.58	23134.58
120	1665.97	2308.12	1116.33	4520.65	1608.48	9609.37	481.78	1544.32	4872.56	17982.46	18630.91
150	1524.68	1988.95	1460.37	2687.31	1267.13	9570.31	624.09	1656.01	4876.28	15902.57	16633.40
180	2072.18	3355.59	1840.75	3008.01	1034.42	9875.99	780.96	1819.22	5728.31	18058.81	18945.55
210	2743.42	7970.22	3006.14	2744.24	2000.67	9827.94	839.82	2017.18	8590.05	22559.58	24139.67
240	1936.69	9011.55	2152.79	1692.90	1410.28	4842.44	759.73	2247.76	6259.48	17794.65	18863.47
270	1238.54	8948.34	1795.51	1266.68	1699.29	2850.28	722.01	2254.06	5455.35	15319.35	16261.72
300	769.86	9163.03	2571.62	2332.55	1514.01	3512.74	612.56	2241.06	5468.05	17249.38	18095.32
330	772.59	8802.94	3104.61	6983.47	1392.92	4322.45	380.37	2117.97	5650.49	22226.83	22933.82
360	467.08	3874.52	1902.22	8789.34	-21.33	3499.91	178.92	1906.33	2526.90	18070.09	18245.92



**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 3, Kecepatan 0.5 m/s

**LAMPIRAN 7A**

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	520.10	110.98	849.68	-266.48	307.34	53.93	164.08	-28.99	1841.20	-130.55	1845.82
30	329.83	112.83	898.76	-209.03	297.19	-24.29	135.63	-30.87	1661.41	-151.35	1668.29
60	359.06	99.75	975.64	-149.82	379.12	-72.65	127.23	-32.05	1841.05	-154.77	1847.54
90	314.63	6.29	1057.78	-6.49	717.53	-171.53	117.39	-36.77	2207.33	-208.50	2217.15
120	173.91	-154.18	605.55	94.77	816.24	-213.49	115.35	-50.66	1711.05	-323.56	1741.37
150	158.61	-182.08	349.51	75.27	839.31	-146.27	118.71	-69.09	1466.14	-322.17	1501.12
180	259.40	-242.97	350.36	23.49	932.70	-81.76	119.21	-88.95	1661.67	-390.19	1706.87
210	619.31	-348.53	209.83	-159.07	988.71	-35.63	122.55	-107.11	1940.40	-650.34	2046.48
240	777.34	-307.44	60.69	-243.25	589.36	102.73	155.52	-99.26	1582.92	-547.22	1674.84
270	802.93	-202.98	46.19	-228.62	356.10	96.54	163.31	-83.30	1368.53	-418.36	1431.05
300	869.38	-125.33	106.20	-309.08	377.61	91.92	166.68	-64.57	1519.87	-407.06	1573.43
330	910.89	14.16	540.70	-401.29	414.31	89.87	166.42	-45.71	2032.32	-342.98	2061.06
360	520.10	110.98	849.68	-266.48	307.34	53.93	164.08	-28.99	1841.20	-130.55	1845.82

**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 3, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 7B

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-101.01	1333.84	694.96	3165.26	-77.67	693.83	84.84	463.28	601.12	5656.21	5688.07
30	19.08	793.66	401.13	3291.80	69.09	672.20	91.71	377.02	581.01	5134.67	5167.44
60	11.98	821.33	226.38	3404.78	309.39	1123.36	96.17	347.17	643.92	5696.64	5732.92
90	362.12	658.60	73.79	3443.49	521.90	2715.65	108.82	307.90	1066.63	7125.64	7205.03
120	593.06	316.80	-64.54	1555.77	464.85	3125.61	157.30	286.89	1150.67	5285.08	5408.89
150	634.84	302.99	125.24	808.87	163.71	3151.85	223.50	288.02	1147.29	4551.73	4694.10
180	889.72	821.64	245.94	725.69	10.79	3272.36	287.88	295.82	1434.32	5115.52	5312.79
210	1066.13	2465.63	916.65	281.94	148.90	3181.95	337.78	315.45	2469.47	6244.97	6715.50
240	716.24	3012.24	923.38	-109.35	4.44	1471.46	313.92	417.40	1957.98	4791.75	5176.34
270	310.76	3051.53	848.18	-163.64	171.54	805.72	271.45	447.12	1601.94	4140.74	4439.81
300	78.50	3119.12	1181.14	188.25	124.06	863.10	213.77	466.89	1597.47	4637.36	4904.80
330	-70.84	2991.40	1405.83	2146.49	91.13	953.40	143.03	470.53	1569.15	6561.82	6746.83
360	-101.01	1333.84	694.96	3165.26	-77.67	693.83	84.84	463.28	601.12	5656.21	5688.07



**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 3, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 7C

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	1472.41	149.27	2452.22	-698.94	1179.80	101.90	612.90	-71.33	5717.32	-519.10	5740.84
30	963.88	160.41	2540.13	-620.02	1089.07	-24.19	522.03	-74.83	5115.10	-558.63	5145.51
60	1134.87	98.97	2740.87	-497.37	1318.26	-128.60	495.72	-101.04	5689.72	-628.04	5724.28
90	1093.96	-215.86	2923.75	-230.19	2398.58	-569.69	477.75	-142.41	6894.04	-1158.16	6990.64
120	747.38	-540.26	1703.17	30.11	2600.26	-688.88	499.39	-193.71	5550.21	-1392.75	5722.29
150	686.23	-536.31	1013.76	0.33	2634.13	-601.00	539.24	-248.12	4873.36	-1385.10	5066.37
180	971.62	-661.53	1121.69	-156.23	2900.52	-473.34	568.58	-308.04	5562.41	-1599.14	5787.71
210	2053.22	-955.98	955.78	-617.05	3066.05	-468.02	609.70	-350.62	6684.75	-2391.67	7099.71
240	2408.54	-805.22	576.77	-692.12	1783.49	45.84	703.05	-299.67	5471.86	-1751.17	5745.24
270	2424.85	-580.39	492.61	-608.45	1071.73	43.24	710.51	-246.03	4699.70	-1391.63	4901.41
300	2597.17	-406.89	689.70	-794.47	1209.32	27.83	694.41	-201.67	5190.59	-1375.19	5369.68
330	2702.98	-108.79	1797.62	-1029.28	1466.04	14.69	658.91	-144.65	6625.55	-1268.03	6745.80
360	1472.41	149.27	2452.22	-698.94	1179.80	101.90	612.90	-71.33	5717.32	-519.10	5740.84



**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 3, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 7D

Azimuth	Torsi (Nm)										
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	273.54	3873.96	1838.68	8949.22	-127.13	2903.48	204.43	1736.55	2189.52	17463.22	17599.94
30	549.19	2399.22	1290.67	9231.37	3.34	2560.65	219.57	1432.63	2062.77	15623.86	15759.45
60	551.60	2765.63	935.50	9528.36	515.16	3762.03	278.60	1312.56	2280.86	17368.58	17517.70
90	1694.97	2503.36	908.26	9527.62	1552.45	8555.91	362.14	1201.16	4517.84	21788.05	22251.52
120	1903.53	1615.16	627.63	4456.07	1422.44	9535.08	503.53	1181.90	4457.13	16788.21	17369.80
150	1843.78	1418.56	1021.03	2466.20	903.30	9544.01	670.80	1245.57	4438.90	14674.35	15331.02
180	2430.50	2820.25	1352.88	2563.21	597.40	9925.30	836.78	1351.43	5217.57	16660.19	17458.09
210	3078.50	7709.23	3040.71	1867.74	1486.96	9853.11	927.21	1499.53	8533.39	20929.61	22602.37
240	1976.47	9095.30	2517.73	764.19	849.74	4683.57	822.14	1800.69	6166.07	16343.75	17468.22
270	1034.86	9081.86	2221.26	421.11	1240.52	2642.20	720.88	1868.55	5217.53	14013.73	14953.50
300	511.15	9254.24	3094.07	1496.85	1057.48	3051.26	595.19	1903.92	5257.88	15706.26	16562.97
330	468.30	8953.30	3623.58	6604.12	980.29	3726.18	397.28	1856.10	5469.43	21139.70	21835.79
360	273.54	3873.96	1838.68	8949.22	-127.13	2903.48	204.43	1736.55	2189.52	17463.22	17599.94

**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 3, Kecepatan 1.5 m/s

**LAMPIRAN 7E**

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	2892.82	191.29	4881.39	-1386.71	2510.27	168.91	1341.37	-127.74	11625.85	-1154.24	11683.01
30	1910.43	215.84	5013.13	-1295.40	2298.43	-14.11	1158.23	-145.16	10380.21	-1238.83	10453.87
60	2290.77	63.01	5399.20	-1088.57	2778.96	-260.01	1110.58	-220.10	11579.50	-1505.66	11676.98
90	2328.53	-523.61	5755.42	-673.66	4945.43	-1121.57	1098.20	-308.10	14127.58	-2626.94	14369.74
120	1694.91	-1035.31	3370.33	-138.17	5317.83	-1382.93	1174.53	-389.83	11557.60	-2946.24	11927.21
150	1561.38	-974.14	2046.05	-182.59	5356.76	-1287.79	1276.75	-482.30	10240.93	-2926.83	10650.96
180	2148.28	-1172.15	2349.90	-511.09	5858.72	-1085.00	1355.29	-598.16	11712.19	-3366.39	12186.39
210	4320.63	-1742.32	2230.01	-1293.52	6164.55	-1116.19	1464.16	-676.81	14179.35	-4828.84	14979.04
240	4896.00	-1488.88	1495.92	-1314.89	3590.09	-145.72	1635.51	-570.19	11617.52	-3519.68	12138.98
270	4874.41	-1140.58	1288.75	-1108.64	2144.60	-113.35	1625.54	-489.09	9933.30	-2851.66	10334.52
300	5204.40	-828.69	1683.88	-1425.68	2469.17	-136.74	1567.89	-422.24	10925.34	-2813.35	11281.75
330	5385.95	-316.01	3797.34	-1910.07	3065.41	-149.43	1468.06	-297.30	13716.75	-2672.82	13974.74
360	2892.82	191.29	4881.39	-1386.71	2510.27	168.91	1341.37	-127.74	11625.85	-1154.24	11683.01



**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 3, Kecepatan 1.5 m/s

LAMPIRAN 7F

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	902.98	7679.29	3618.05	17615.43	-172.86	6293.11	358.04	3801.19	4706.20	35389.02	35700.57
30	1413.13	4809.04	2758.48	18101.89	-127.95	5443.58	414.51	3164.35	4458.16	31518.86	31832.59
60	1497.63	5670.04	2169.11	18676.53	966.55	7833.25	578.43	2933.62	5211.73	35113.45	35498.12
90	3561.22	5493.68	2504.34	18710.89	3162.31	17406.80	734.53	2771.89	9962.39	44383.26	45487.61
120	3531.99	3818.48	1949.09	8915.66	2999.28	19252.98	942.11	2804.73	9422.47	34791.84	36045.19
150	3270.20	3306.99	2653.32	5128.87	2224.53	19217.70	1224.11	2975.76	9372.16	30629.32	32031.12
180	4363.39	6054.82	3313.84	5599.88	1757.54	19945.59	1530.51	3254.42	10965.28	34854.70	36538.85
210	5730.26	15802.17	6052.68	4818.80	3714.95	19901.97	1676.65	3618.75	17174.54	44141.70	47365.11
240	3776.72	18232.46	4546.51	2564.32	2477.53	9580.17	1492.44	4166.15	12293.21	34543.10	36665.36
270	2220.43	18105.60	3860.03	1691.00	3134.14	5479.11	1384.65	4249.01	10599.24	29524.72	31369.62
300	1286.96	18436.72	5470.36	3827.89	2715.07	6470.11	1188.19	4297.68	10660.58	33032.40	34710.05
330	1402.17	17841.40	6549.83	13603.55	2500.19	8027.55	772.03	4143.12	11224.22	43615.64	45036.73
360	902.98	7679.29	3618.05	17615.43	-172.86	6293.11	358.04	3801.19	4706.20	35389.02	35700.57



**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 3, Kecepatan 2 m/s

**LAMPIRAN 7G**

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	4790.47	234.31	8137.27	-2314.01	4302.49	258.11	2348.91	-200.91	19579.14	-2022.50	19683.33
30	3180.96	275.70	8316.81	-2217.05	3923.34	8.68	2043.16	-243.90	17464.27	-2176.57	17599.38
60	3844.40	-5.78	8949.08	-1902.51	4754.63	-422.57	1972.76	-385.79	19520.88	-2716.66	19709.01
90	4059.68	-900.11	9545.24	-1299.98	8356.30	-1831.03	1980.25	-527.29	23941.47	-4558.41	24371.56
120	3052.78	-1623.96	5606.99	-392.25	8954.23	-2292.36	2139.47	-640.74	19753.47	-4949.31	20364.07
150	2819.13	-1471.51	3435.76	-453.76	8984.56	-2202.57	2330.80	-788.72	17570.25	-4916.56	18245.17
180	3816.67	-1770.14	4023.00	-1007.43	9786.64	-1907.48	2482.64	-985.91	20108.96	-5670.96	20893.30
210	7442.34	-2715.91	4029.52	-2155.73	10276.57	-1988.47	2687.69	-1111.09	24436.12	-7971.20	25703.39
240	8235.95	-2379.03	2818.23	-2088.67	5998.47	-433.51	2953.76	-938.93	20006.40	-5840.15	20841.39
270	8147.86	-1902.21	2433.88	-1708.65	3575.00	-345.08	2911.07	-831.31	17067.81	-4787.25	17726.48
300	8683.80	-1417.25	3095.70	-2193.32	4162.57	-375.33	2788.55	-728.74	18730.63	-4714.65	19314.87
330	8963.68	-615.91	6542.02	-3027.44	5222.67	-376.61	2593.07	-498.22	23321.46	-4518.18	23755.09
360	4790.47	234.31	8137.27	-2314.01	4302.49	258.11	2348.91	-200.91	19579.14	-2022.50	19683.33

**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 3, Kecepatan 2 m/s

**LAMPIRAN 7H**

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	1808.40	12779.00	6003.13	29188.33	-243.44	10884.28	554.15	6655.01	8122.24	59506.62	60058.38
30	2634.77	8059.35	4765.09	29928.31	-350.81	9316.21	684.60	5571.75	7733.64	52875.62	53438.19
60	2850.42	9588.78	3874.27	30874.14	1552.45	13318.11	989.91	5221.23	9267.06	59002.27	59725.59
90	5894.75	9744.82	4760.79	30997.78	5289.97	29218.97	1218.36	5036.28	17163.88	74997.85	76936.83
120	5399.97	7028.29	3834.37	14938.24	5132.77	32192.89	1502.34	5168.58	15869.45	59327.99	61413.76
150	4818.04	6064.85	4962.23	8769.31	4069.82	32073.24	1966.03	5504.79	15816.12	52412.19	54746.57
180	6632.53	10595.40	6028.76	9819.35	3414.11	33250.64	2482.85	6053.15	18558.25	59718.53	62535.69
210	8991.38	26797.24	9881.44	9140.11	6790.83	33262.22	2695.32	6721.70	28358.96	75921.27	81044.86
240	6145.20	30410.96	6977.53	5311.81	4797.03	16133.00	2433.28	7555.91	20353.03	59411.68	62801.22
270	3899.82	30110.86	5733.38	3663.66	5782.44	9305.29	2332.63	7630.64	17748.26	50710.46	53726.64
300	2453.13	30644.36	8295.14	7214.73	5031.61	11117.31	2006.78	7677.19	17786.66	56653.59	59380.08
330	2747.99	29670.12	10176.92	23168.83	4582.40	13878.75	1251.93	7340.03	18759.24	74057.73	76396.70
360	1808.40	12779.00	6003.13	29188.33	-243.44	10884.28	554.15	6655.01	8122.24	59506.62	60058.38



**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 4, Kecepatan 0.5 m/s

**LAMPIRAN 8A**

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	930.99	181.39	1481.25	-477.29	553.01	78.92	288.07	-53.13	3253.32	-270.11	3264.51
30	607.64	185.49	1566.06	-390.51	542.22	-59.32	236.82	-56.78	2952.75	-321.13	2970.16
60	656.49	156.71	1724.59	-279.07	689.29	-135.29	221.88	-57.57	3292.24	-315.23	3307.30
90	547.89	-11.40	1870.98	-18.23	1286.66	-315.93	204.69	-64.67	3910.22	-410.23	3931.68
120	302.05	-289.31	1081.89	155.59	1466.86	-397.03	201.47	-85.52	3052.27	-616.28	3113.87
150	270.23	-342.09	636.95	128.07	1502.82	-289.97	204.46	-112.56	2614.47	-616.54	2686.18
180	456.59	-440.67	646.11	30.69	1680.00	-168.35	201.36	-141.16	2984.06	-719.50	3069.58
210	1078.25	-621.13	365.41	-302.86	1759.36	-93.23	204.01	-169.91	3407.04	-1187.13	3607.93
240	1367.19	-553.82	116.48	-453.06	1044.08	161.33	263.76	-156.98	2791.51	-1002.54	2966.07
270	1420.67	-381.15	88.75	-424.50	643.20	155.37	278.35	-131.39	2430.98	-781.66	2553.56
300	1563.38	-229.34	175.88	-571.03	688.17	150.59	286.42	-102.96	2713.84	-752.73	2816.30
330	1613.45	9.82	921.44	-714.88	731.31	145.10	288.74	-77.24	3554.94	-637.20	3611.60
360	930.99	181.39	1481.25	-477.29	553.01	78.92	288.07	-53.13	3253.32	-270.11	3264.51



**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 4, Kecepatan 0.5 m/s

LAMPIRAN 8B

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-201.75	3119.57	1648.15	7298.42	-71.00	1639.28	198.56	1091.74	1573.97	13149.00	13242.87
30	138.11	1927.23	1007.83	7584.47	270.91	1628.58	216.90	886.37	1633.74	12026.65	12137.11
60	129.96	1963.55	567.05	7889.45	765.95	2647.45	223.71	817.01	1686.66	13317.46	13423.85
90	973.89	1502.72	170.53	8046.97	1302.24	6411.62	249.36	722.44	2696.02	16683.75	16900.18
120	1510.10	722.77	-126.78	3633.91	1183.11	7384.81	348.46	670.53	2914.89	12412.02	12749.70
150	1628.39	670.05	340.60	1954.15	497.78	7403.59	480.01	657.50	2946.78	10685.30	11084.18
180	2140.25	1907.42	640.24	1755.36	110.49	7710.76	599.69	657.45	3490.68	12030.99	12527.15
210	2536.13	5735.17	2285.45	634.10	425.23	7450.50	696.92	685.57	5943.74	14505.34	15675.87
240	1701.16	7046.83	2339.78	-260.52	76.17	3398.15	643.17	933.55	4760.28	11118.01	12094.22
270	792.92	7116.98	2152.06	-368.03	503.67	1932.76	556.29	1010.43	4004.94	9692.13	10486.99
300	178.20	7358.68	2880.01	309.61	364.41	2072.96	443.66	1068.47	3866.28	10809.72	11480.34
330	-152.38	6969.24	3355.72	4880.17	278.44	2211.78	311.10	1089.90	3792.88	15151.08	15618.61
360	-201.75	3119.57	1648.15	7298.42	-71.00	1639.28	198.56	1091.74	1573.97	13149.00	13242.87

**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 4, Kecepatan 1 m/s

LAMPIRAN 8C

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	2634.83	237.90	4276.14	-1243.58	2143.87	140.77	1068.45	-131.59	10123.30	-996.50	10172.22
30	1790.76	268.03	4397.47	-1128.69	2022.28	-72.48	903.41	-140.10	9113.92	-1073.24	9176.90
60	2091.58	136.26	4814.44	-900.73	2402.26	-250.13	855.99	-187.56	10164.26	-1202.16	10235.10
90	1954.54	-409.84	5179.09	-408.57	4278.65	-1034.67	831.50	-258.82	12243.79	-2111.91	12424.59
120	1352.26	-981.91	3042.74	57.24	4651.99	-1256.06	879.79	-343.54	9926.78	-2524.27	10242.70
150	1252.13	-966.36	1858.15	10.88	4696.11	-1133.53	950.67	-432.77	8757.06	-2521.78	9112.93
180	1768.87	-1185.09	2070.06	-278.71	5184.06	-892.80	998.64	-527.58	10021.63	-2884.19	10428.41
210	3647.27	-1685.34	1724.70	-1086.37	5441.87	-873.58	1066.41	-595.78	11880.26	-4241.07	12614.56
240	4256.92	-1455.40	1125.63	-1241.56	3173.86	48.62	1234.39	-504.58	9790.79	-3152.92	10285.94
270	4311.67	-1077.82	978.99	-1077.97	1950.80	62.48	1243.00	-414.78	8484.45	-2508.09	8847.40
300	4673.96	-756.02	1233.88	-1403.58	2224.21	42.99	1208.37	-345.67	9340.42	-2462.28	9659.52
330	4799.74	-221.96	3142.57	-1797.70	2614.37	-1.04	1144.89	-255.65	11701.57	-2276.35	11920.92
360	2634.83	237.90	4276.14	-1243.58	2143.87	140.77	1068.45	-131.59	10123.30	-996.50	10172.22



**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 4, Kecepatan 1 m/s

**LAMPIRAN 8D**

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	701.70	9094.10	4391.15	20700.94	12.24	6963.81	504.33	4075.13	5609.42	40833.98	41217.46
30	1454.46	5899.71	3170.36	21254.47	271.09	6448.35	568.72	3354.70	5464.62	36957.23	37359.06
60	1497.41	6677.51	2302.61	21982.84	1359.32	9042.32	729.00	3091.49	5888.34	40794.17	41216.95
90	4144.21	5922.69	2087.52	22314.80	3849.96	20277.10	925.83	2872.43	11007.52	51387.02	52552.74
120	4698.27	3933.31	1441.17	10412.95	3500.33	22624.80	1231.66	2873.37	10871.43	39844.42	41300.91
150	4528.16	3573.65	2437.43	5950.12	2334.32	22545.71	1588.77	3030.66	10888.69	35100.14	36750.28
180	5783.01	6877.21	3235.84	6200.07	1574.99	23356.78	1922.83	3260.62	12516.67	39694.68	41621.33
210	7285.33	18336.62	7139.89	4510.24	3541.67	23073.08	2092.61	3561.49	20059.51	49481.44	53392.85
240	4756.14	21515.74	6118.92	2110.13	2075.89	10893.04	1828.30	4262.93	14779.25	38781.84	41502.49
270	2607.01	21442.87	5358.95	1462.32	3049.13	6384.27	1607.42	4384.13	12622.51	33673.60	35961.63
300	1324.13	21983.82	7257.65	3380.31	2532.52	7383.10	1347.53	4430.78	12461.83	37178.00	39210.98
330	1151.20	21000.50	8466.08	15325.04	2439.49	8760.19	925.38	4319.57	12982.16	49405.29	51082.48
360	701.70	9094.10	4391.15	20700.94	12.24	6963.81	504.33	4075.13	5609.42	40833.98	41217.46



**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 4, Kecepatan 1.5 m/s

**LAMPIRAN 8E**

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	5178.25	310.27	8563.71	-2476.82	4569.13	205.55	2336.91	-236.97	20648.00	-2197.97	20764.66
30	3551.76	380.50	8713.23	-2356.38	4274.58	-88.07	2001.69	-274.59	18541.26	-2338.55	18688.16
60	4239.19	62.03	9524.32	-1969.74	5060.43	-538.64	1915.44	-406.45	20739.39	-2852.79	20934.67
90	4198.28	-964.05	10246.80	-1195.23	8820.40	-2043.83	1908.10	-550.40	25173.58	-4753.52	25618.45
120	3113.31	-1884.72	6055.30	-219.85	9520.44	-2510.74	2063.86	-682.94	20752.91	-5298.25	21418.56
150	2922.96	-1751.58	3776.91	-286.28	9557.01	-2393.09	2248.45	-836.60	18505.33	-5267.55	19240.43
180	3977.76	-2127.14	4351.61	-893.14	10481.33	-2011.42	2388.78	-1024.85	21199.48	-6056.55	22047.67
210	7777.65	-3097.68	4014.82	-2273.69	10973.77	-2005.84	2580.58	-1155.89	25346.83	-8533.10	26744.63
240	8728.61	-2714.02	2879.18	-2361.01	6429.13	-292.68	2892.07	-971.06	20929.00	-6338.77	21867.85
270	8732.65	-2126.01	2523.77	-1957.18	3940.96	-200.24	2865.31	-841.94	18062.70	-5125.38	18775.80
300	9410.40	-1556.91	3023.40	-2506.96	4571.28	-230.39	2745.75	-741.12	19750.83	-5035.38	20382.60
330	9612.98	-598.96	6681.10	-3348.94	5487.31	-312.72	2560.03	-530.23	24341.42	-4790.84	24808.40
360	5178.25	310.27	8563.71	-2476.82	4569.13	205.55	2336.91	-236.97	20648.00	-2197.97	20764.66

**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 4 Kecepatan 1.5 m/s

LAMPIRAN 8F

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	2145.79	18035.74	8647.29	40973.25	297.45	15138.02	914.85	8902.29	12005.39	83049.31	83912.55
30	3504.24	11811.67	6726.31	41857.73	277.19	13785.30	1115.05	7389.58	11622.80	74844.28	75741.38
60	3786.63	13739.54	5306.35	43217.77	2694.07	18927.10	1528.19	6886.00	13315.24	82770.41	83834.58
90	8621.41	13084.31	5756.31	44002.31	7917.07	41411.20	1848.89	6590.35	24143.69	105088.17	107825.97
120	8810.37	9421.55	4455.57	20947.21	7335.81	45897.16	2270.34	6763.59	22872.10	83029.50	86122.18
150	8106.61	8617.38	6261.41	12435.70	5568.99	45609.81	2883.63	7200.47	22820.64	73863.35	77308.32
180	10586.15	15039.17	7842.45	13594.91	4420.10	47104.81	3531.38	7857.69	26380.08	83596.59	87660.13
210	13737.62	38087.99	14186.14	11571.91	8701.40	46780.81	3831.71	8669.66	40456.86	105110.38	112627.48
240	9210.64	43597.27	11090.68	6742.70	5894.26	22428.97	3395.01	9952.12	29590.59	82721.07	87854.30
270	5598.43	43203.81	9314.43	5084.90	7530.97	13330.24	3189.07	10069.70	25632.90	71688.66	76133.49
300	3359.53	44126.04	12815.16	8815.67	6388.58	15712.14	2787.97	10089.46	25351.24	78743.32	82723.61
330	3302.07	42182.82	15349.11	31726.29	6173.59	18933.40	1848.12	9686.87	26672.89	102529.39	105942.05
360	2145.79	18035.74	8647.29	40973.25	297.45	15138.02	914.85	8902.29	12005.39	83049.31	83912.55



**V-HELICAL**

Nilai Gaya Dimensi 4, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 8G

Azimuth	Gaya / Force (N)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	8577.45	391.29	14342.09	-4145.48	7832.57	287.42	4094.28	-374.11	34846.39	-3840.88	35057.43
30	5912.15	512.18	14510.23	-4037.86	7301.77	-94.20	3534.57	-460.95	31258.72	-4080.83	31523.97
60	7125.38	-63.49	15843.92	-3448.91	8655.60	-896.66	3404.53	-703.54	35029.43	-5112.59	35400.56
90	7330.84	-1646.26	17057.24	-2316.62	14912.36	-3345.20	3440.70	-925.84	42741.13	-8233.92	43527.03
120	5628.30	-2961.75	10110.73	-648.96	16045.06	-4159.44	3755.18	-1107.45	35539.26	-8877.61	36631.28
150	5313.65	-2651.13	6367.13	-732.60	16053.80	-4068.46	4098.79	-1355.21	31833.38	-8807.40	33029.29
180	7094.67	-3234.46	7460.62	-1756.83	17538.78	-3513.41	4375.18	-1681.59	36469.25	-10186.30	37865.12
210	13431.62	-4847.45	7247.01	-3789.87	18321.49	-3548.18	4744.95	-1899.91	43745.08	-14085.41	45956.83
240	14716.12	-4340.65	5394.06	-3753.80	10768.23	-816.86	5233.72	-1609.65	36112.13	-10520.97	37613.52
270	14618.33	-3542.51	4740.88	-3009.81	6593.37	-604.16	5143.38	-1445.92	31095.97	-8602.40	32263.92
300	15710.22	-2656.81	5570.69	-3845.67	7714.62	-642.31	4894.20	-1290.62	33889.73	-8435.41	34923.77
330	16014.68	-1133.46	11559.08	-5318.92	9344.20	-756.28	4528.76	-891.78	41446.72	-8100.43	42230.89
360	8577.45	391.29	14342.09	-4145.48	7832.57	287.42	4094.28	-374.11	34846.39	-3840.88	35057.43



**V-HELICAL**

Nilai Torsi Dimensi 4, Kecepatan 2 m/s

LAMPIRAN 8H

Azimuth	Torsi (Nm)										Resultan
	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	4187.37	30017.14	14361.29	68152.55	666.00	26204.69	1444.55	15580.06	20659.20	139954.43	141471.01
30	6357.75	19757.04	11599.08	69430.06	177.63	23676.44	1860.37	13007.84	19994.83	125871.38	127449.59
60	6999.63	23253.86	9471.75	71616.78	4488.63	32226.18	2586.64	12235.86	23546.65	139332.67	141308.31
90	14241.81	23194.26	10966.03	73100.04	13354.75	69641.38	2994.95	11930.82	41557.54	177866.49	182656.83
120	13586.01	17362.00	8766.69	35201.14	12587.89	76916.32	3544.16	12394.86	38484.74	141874.31	147001.35
150	12074.14	15910.88	11663.36	21311.81	10119.78	76306.70	4568.79	13240.26	38426.07	126769.65	132465.49
180	16271.48	26433.18	14212.65	23862.97	8522.52	78662.78	5697.47	14557.92	44704.12	143516.85	150318.15
210	21711.93	64746.32	23132.05	21904.09	15848.78	78339.90	6181.58	16103.34	66874.34	181093.65	193046.85
240	15030.45	72928.04	17056.41	13762.89	11344.01	37876.80	5600.27	18077.10	49031.13	142644.83	150836.33
270	9804.74	72036.74	13833.68	10636.19	13805.55	22697.59	5453.25	18131.30	42897.21	123501.82	130739.70
300	6342.65	73442.90	19409.25	16771.06	11796.47	26999.47	4774.02	18072.72	42322.40	135286.14	141751.64
330	6370.39	70269.04	23890.92	54231.78	11288.10	32730.59	3031.97	17187.12	44581.38	174418.52	180025.89
360	4187.37	30017.14	14361.29	68152.55	666.00	26204.69	1444.55	15580.06	20659.20	139954.43	141471.01

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Denpasar 27 Oktober 1993. Penulis menempuh pendidikan di SDN 26 Dangin Puri Denpasar lulus tahun 2005, SMPK 1 Harapan Denpasar lulus tahun 2008, dan SMAN 5 Denpasar lulus tahun 2011. Pendidikan sarjana ditempuh di Jurusan Teknik Fisika ITS. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan HMTF selama periode 2011-2012 & 2012-2013 dalam bidang keilmiah ICC dan juga dalam organisasi kerohanian TPKH-ITS (Tim Pembina Kerohanian Hindu ITS) selama periode 2012-2013 & 2013-2014 dalam bidang pengabdian masyarakat serta menjadi Wakil Ketua Harian Bidang Eksternal. Selain aktif dalam berorganisasi, penulis juga aktif dalam kegiatan akademik sebagai asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan ITS selama periode 2012-2013 & 2013-2014. Pengalaman *internship program* selama 1 bulan di PT Titis Sampurna dengan *project* pengendalian *flow reflux* pada unit de-butaniser menggunakan *cascade control*. Bidang minat penulis adalah energi terbarukan, instrumentasi dan kontrol, manajemen energi. Semoga dengan adanya buku ini penulis berharap agar penelitian ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya dan berdampak positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia. Penulis dapat dihubungi di email [yamuna.gangga@gmail.com](mailto:yamuna.gangga@gmail.com)